

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
CONSEJO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
POSTGRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



**INGENIERÍA PARA EL REEMPLAZO DE ACTUADORES  
YUGO ESCOCÉS POR ACTUADORES GAS-HIDRÁULICOS,  
EN ESTACIONES DE VÁLVULAS AUTOMÁTICAS.**

Presentado por:

Ing. Carlos Estiven Pérez Velásquez

Trabajo Especial de Grado como requisito para optar al Título de  
Especialista en Automatización e Informática Industrial

PUERTO LA CRUZ, MAYO DE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
CONSEJO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
POSTGRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



**INGENIERÍA PARA EL REEMPLAZO DE ACTUADORES  
YUGO ESCOCÉS POR ACTUADORES GAS-HIDRÁULICOS,  
EN ESTACIONES DE VÁLVULAS AUTOMÁTICAS.**

**JURADO CALIFICADOR**

---

Ing. Esp. Yordy González  
Asesor Académico

---

Ing. Esp. Margarita Heraoui  
Jurado Principal

---

Ing. Esp. Romel Rodríguez  
Jurado Principal

PUERTO LA CRUZ, MAYO DE 2009

## **ARTÍCULO 44**

**“LOS TRABAJOS ESPECIALES DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SOLO PODRÁN SER UTILIZADOS PARA OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”**

## **RESUMEN**

Con la finalidad de optimizar el funcionamiento y rendimiento de la producción del Sistema de Transporte de Gas se realizará una Ingeniería de Detalle para reemplazar los actuadores Yugo Escocés (Marca Limitorque) por actuadores Gas-Hidráulicos (Marca Shafer) en cinco Estaciones de Válvulas Automáticas (EVA), del Sistema de Transporte de Gas Metano Anaco – Barquisimeto, en la Región Centro Occidente (RCO), de PDVSA Gas. Donde se evalúan las condiciones actuales de las EVA's, para dimensionar, analizar y seleccionar los actuadores Gas-Hidráulicos, de acuerdo a los criterios de selección del proveedor, a las condiciones de normales de operación, y a los catálogos del proveedor. Elaborándose la Ingeniería de Detalle que especifica la correcta instalación de los actuadores, se logra cumplir con los objetivos planteados y además se cumple con los estándares nacionales e internacionales de diseño.

## DEDICATORIA

A Dios,

Por darme la fuerza, sabiduría, constancia y paciencia, Todos los días para seguir triunfando.

A Milagros y Camila,

Por acompañarme, comprenderme y apoyarme en todas las metas propuestas de mi vida. Por la inmensa felicidad que me dan.

Gracias.

A mis Padres, Hermanos, Suegros, Cuñados, Sobrinos, a todos

Gracias.

A todas las personas perseverantes y constantes, Aquí se demuestra, que si pueden lograr tus sueños.

Gracias.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi esposa Milagros, a la persona que me ha enseñado a amar y a valorar todos los pequeños detalles de la vida.

A mi hija Camila, que desde su llegada le ha dado una nueva visión y sentido a mi vida para seguirme superando.

A mis padres Carlos y Lila, por enseñarme a ser constante para lograr todas mis metas.

A mis suegros, hermanos, y cuñados, por su apoyo incondicional.

A mis compañeros de postgrado, por su compañerismo, su constancia y dedicación.

Al personal de la Universidad, por su excelente apoyo recibido. Muy en especial, a Laura, Margarita, Yordy y Romel, que fueron pilar fundamental para culminar esta meta ya cumplida en mi vida.

A mis compañero de trabajo, Andrina, Carlos, Alexander y Manuel, excelentes todos.

**A todos gracias.**

## ÍNDICE GENERAL

ARTÍCULO 44.....	III
RESUMEN .....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	XV
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.2 GENERALIDADES .....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	11
1.4.1 Objetivo General .....	11
1.4.2 Objetivos Específicos.....	12
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	12
1.6 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	13
1.7 LIMITACIONES .....	14
1.8 METODOLOGÍA.....	14
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	16
2.1 INFRAESTRUCTURA TÍPICA ESTACIONES DE VÁLVULAS .....	16
2.1.1 Caseta de Telemetría .....	16
2.1.2 Sistema de Recolección de Aguas de Lluvia .....	17

2.1.3	Plataformas y Soportes.....	17
2.1.4	Cercas Perimetrales .....	18
2.1.5	Losa de Piso .....	18
2.2	ESTACIONES DE REGULACIÓN PRIMARIA (ERP).....	18
2.2.1	Estaciones de Entrega a Consumidores Mayores .....	20
2.2.2	Filosofía de Mantenimiento .....	22
2.3	VÁLVULAS DE CONTROL .....	27
2.3.1	Tipos Principales de Válvulas de Control.....	29
2.3.2	Válvula De Globo .....	29
2.3.3	Válvula de Ángulo .....	31
2.3.4	Válvulas de Tres Vías .....	32
2.3.5	Válvula de Jaula.....	32
2.3.6	Válvula de Bola .....	33
2.3.7	Válvula de Macho .....	34
2.3.8	Válvula de Orificio Ajustable .....	34
2.3.9	Válvula de Flujo Axial.....	35
2.4	ACTUADORES.....	36
2.4.1	Historia.....	36
2.4.2	Funcionamiento .....	37
2.4.3	Actuador Rotatorio Neumático .....	38
2.4.4	Dimensionamiento de un Actuador Neumático Rotatorio .....	41
2.4.5	Actuador Hidráulico Rotatorio .....	42
2.4.6	Dimensionamiento de un Actuador Rotatorio Hidráulico.....	43
2.4.7	Actuador Rotatorio Eléctrico .....	44
2.4.8	Dimensionamiento de un Actuador Rotatorio Eléctrico .....	45
2.4.9	Actuadores Rotatorios con Posición de Falla .....	47

CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE ACTUADORES.....	49
3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE VÁLVULAS AUTOMÁTICAS.....	49
3.1.1 EVA Guacara N65 .....	49
3.1.2 EVA Universidad N66 .....	51
3.1.3 EVA El Café N67 .....	53
3.1.4 EVA La Corona N68 .....	55
3.1.5 EVA Morón N70 .....	56
3.2 CRITERIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ACTUADORES.....	59
3.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ACTUADORES .....	60
3.3.1 Dimensionamiento del Actuador AUV-6501, de la EVA N-65 .....	61
3.3.2 Dimensionamiento del Actuador AUV-6520, de la EVA N-65 .....	63
3.3.3 Dimensionamiento del Actuador AUV-6514, de la EVA N-65 .....	64
3.3.4 Dimensionamiento del Actuador AUV-6525, de la EVA N-65 .....	66
3.3.5 Dimensionamiento del Actuador AUV-6601, AUV-6701 Y AUV-6801 de las EVA N-66, N-67 Y N-68, Respectivamente.....	67
3.3.6 Dimensionamiento del Actuador AUV-6602 y AUV-6603, Respectivamente.....	67
3.3.7 Dimensionamiento del Actuador AUV-1009 de la EVA N-70 .....	69
3.3.8 Dimensionamiento del Actuador AUV-1005A, de la EVA N-70.....	69
3.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	70
3.5 Documentos y Planos a Desarrollar .....	72
 CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	 73
4.1 CONCLUSIONES.....	73
4.2 RECOMENDACIONES .....	74

BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANEXO 1: DIAGRAMA DE ESTACIONES DE VÁLVULAS AUTOMÁTICAS .	80
ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS TORQUES DE LAS VÁLVULAS ...	86
ANEXO 3: CATÁLOGO ACTUADOR SHAFER.....	94
ANEXO 4: INGENIERÍA DE DETALLE.....	107
ANEXO 4.1: ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN	
ANEXO 4.2: BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO	
ANEXO 4.3: ALCANCE MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO	
ANEXO 4.4: CÓMPUTOS MÉTRICOS	
ANEXO 4.5: LISTA DE MATERIALES	
ANEXO 4.6: HOJA DE DATOS	
ANEXO 4.7: DETALLE DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE ACTUADOR	
ANEXO 4.8: DETALLE DE INSTALACIÓN ACTUADOR CON SISTEMA LINE BREAK	
ANEXO 4.9: DETALLE DE INSTALACIÓN ACTUADOR CON SISTEMA DE APERTURA Y CIERRE	
ANEXO 4.10: DIAGRAMA FUNCIONAL	

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Figura 1.2. Sub-sistema Guacara – Morón. [4] .....	6
Figura 1.3. Esquemático General de Estaciones de Válvulas de Sectorización. [4] .....	8
Figura 1.4. Esquemático Típico Estación de Válvulas de Sectorización e Interconexión. [4] .....	10

### CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Figura 2.1. Esquemático Típico de una ERP [4] .....	19
Figura 2.2. Esquemático de una de las EMR de Grandes Consumidores [4] .....	23
Figura 2.3 Válvula de control típica (Fuente: <i>Honeywell</i> ). [5] .....	28
Figura 2.4 Válvulas de control con obturadores de movimiento lineal [5] .....	30
Figura 2.5 Válvulas de control con obturadores de movimiento circular [5] .....	31
Figura 2.6 Válvulas de jaula .....	33
Figura 2.7 Válvula de Bola .....	34
Figura 2.8 Válvula de Orificio Ajustable .....	35
Figura 2.9 Válvula de Flujo Axial .....	35
Figura 2.10 Actuador de Veleta Única ( <i>Rotary Vane</i> ). [6] .....	38
Figura 2.11 Actuador de Piñón y Cremallera ( <i>Rack &amp; Pinion</i> ). [6] .....	39
Figura 2.12 Actuador de Yugo Escocés ( <i>Scotch Yoke</i> ). [6] .....	39
Figura 2.13 Curva de Torque para Yugo Escocés Simétrico y Yugo Escocés Inclinado. [6] .....	40
Figura 2.14 Actuador de Veleta Rotatoria doble [6] .....	43

### CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE ACTUADORES

Figura 3.1 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA Guacara N65. [7] .....	50
Figura 3.2 EVA Guacara N65, Válvula AUV-6501. ....	51
Figura 3.3 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA Universidad N66. [7] .....	52
Figura 3.4 EVA Universidad N66, Válvula AUV-6601. ....	53
Figura 3.5 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA El Café N67. [7] .....	54
Figura 3.6 EVA El Café N67, Válvula AUV-6701. ....	55
Figura 3.7 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA La Corona N68. [7] .....	56
Figura 3.8 EVA La Corona N68, Válvula AUV-6801 .....	57
Figura 3.9 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA Morón N70. [7].....	58
Figura 3.10 EVA Morón N70, Válvula AUV-1009.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1 Partes Móviles de Actuadores. [6] .....	37
Tabla 2.2 Características de Actuadores [6] .....	40

### CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE ACTUADORES

Tabla 3.1 Condiciones de Proceso EVA Guacara N65.....	50
Tabla 3.2 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA Guacara N65.....	50
Tabla 3.3 Condiciones de Proceso EVA Universidad N66.....	51
Tabla 3.4 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA Universidad N66 .....	52
Tabla 3.5 Condiciones de Proceso EVA El Café N67 .....	53
Tabla 3.6 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA El Café N67.....	54
Tabla 3.7 Condiciones de Proceso EVA La Corona N68.....	55
Tabla 3.8 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA La Corona N68.....	56
Tabla 3.9 Condiciones de Proceso EVA Morón N70 .....	57
Tabla 3.10 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA Morón N70. ....	58
Tabla 3.11 Especificaciones y dimensiones de Actuadores marca Shafer .....	60
Tabla 3.12 Identificación de las válvulas donde se instalaran los nuevos actuadores Shafer.....	61

Tabla 3.14 Características de las válvulas utilizadas en el cálculo.....71  
Tabla 3.15 Resultados obtenidos en el cálculo de los actuadores .....72  
Tabla 3.16 Documentos y planos a desarrollar.....72

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Gas-Hidráulico	Utiliza el gas de la líneas para impulsar el aceite para hacer mover le vena rotativa.
EPA:	Estación Principal Anaco.
ETB:	Estación Terminal Barquisimeto.
LGN:	Liquido de Gas Natural.
Km:	Kilómetro.
ERP:	Estaciones de Regulación Primaria.
EMR:	Estación de Medición y Regulación.
EVA:	Estación de Válvulas Automáticas.
RCO:	Región Centro Occidente.
RTU:	Unidad Terminal Remota.
PDVSA:	Petróleos de Venezuela S.A.
SISUGAS:	Sistema de Supervisorio de Gas.
SIM:	Sistema Integral de Mantenimiento.
FC:	Falla Cierre.
FA:	Falla Abre.
GSDTO:	Gasoducto.
Pmin:	Presión Mínima.
Pmax:	Presión Máxima.
Tvpmin:	Torque de la Válvula a Presión Mínima.
Lb-Pulg:	Libras Pulgadas.
PSI:	Unidad de Presión.
Diám:	Diámetro.
Tapmin:	Torque del Actuador a Presión Mínima.

Tapmax:	Torque del Actuador a Presión Máxima.
Tmax Vástago:	Torque Máximo del Vástago.
Diám vástago:	Diámetro del Vástago.
Diám Actuador:	Diámetro del Actuador.
Pmax trabajo actuador:	Presión Máxima de Trabajo del Actuador.
Pmax gasoducto:	Presión Máxima del Gasoducto.
EMI:	Inmunidad a la Interferencia Causada por Campos Electromagnéticos.
RFI:	Poseer Inmunidad a la Radiofrecuencia.
NPT:	Es una medida estándar americana para referirse a una rosca cónica para caños. (NPT = <i>National Pipes Thread</i> ).
Cv:	Capacidad de la Válvula, es el número de galones por minuto de agua que pueden pasar a través de la restricción de la válvula con una pérdida de un psi.
dba:	Intensidad de ruido.
SCH:	Espesor de la tubería.
UNISTRUT:	Riele de acero galvanizado en forma de U.
RC:	Resistencia de concreto.
PVC:	Policloruro de Vinilo.
mA:	Miliamperios.
dc:	Corriente Continua.
mm:	Milímetro.

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre los antecedentes relacionados con el trabajo de investigación, se destacan los procesos industriales que en su mayoría han sido automatizados y los componentes de estos procesos han sido mejorados por nuevas tecnologías para optimizar el funcionamiento, rendimiento de la producción, entre otros; En PDVSA Gas, los Sistemas de Transporte de Gas forman parte de un proceso automatizado que requiere de constantes mejoras tecnológicas en sus equipos por la necesidad de optimizar el proceso de transporte, distribución y entrega del gas a sus clientes.

Entre las referencias consultadas se encuentra:

- Análisis Teórico Experimental Sobre Sincronización de Actuadores Óleo Hidráulicos, por Rivera Medina, Ricardo José de la Universidad Politécnica de Catalunya, España, donde se muestra el desarrollo de sincronizado de actuadores lineales óleo hidráulicos mediante válvulas divisoras de caudal. Con este proyecto se logró realizar el dimensionado de los orificios principales fijos definen el caudal nominal de la válvula, o rango útil de caudales. [1]
- Plan de Gestión Ambiental y Definición de Criterios para la Priorización de Eventos Geotécnicos en la Operación y Mantenimiento de Sistemas de Transporte de Gas Natural, elaborado por los Sres. Víctor José Domínguez Hernández y Juan Fernando Lanziano Melo en la

Universidad Industrial de Santander, Colombia. Este trabajo fue de gran importancia por la definición de prioridades de los eventos geotécnicos en un sistema de transporte de gas natural. [2]

- Actualización Tecnológicas de Sistemas de Control y Parada de Plantas de Compresión Tía Juana II y III, desarrollado por Covarrubias Sanz, Mauricio de la Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Este trabajo fue de gran importancia por la evolución y selección de equipos en la planta compresoras y a su vez la aplicación de nuevas tecnologías existentes en el mercado. [3]

## **1.2 GENERALIDADES**

El Sistema de Transporte de Gas Anaco-Barquisimeto se inicia en la Estación Principal Anaco (EPA), situada en el sector Buena Vista, Estado Anzoátegui y mediante tuberías de diferentes diámetros transporta gas a través de los Estados Anzoátegui, Guárico, Distrito Federal, Vargas, Aragua, Miranda, Carabobo, Yaracuy y Lara, finalizando en éste último estado en la Estación Terminal Barquisimeto (ETB), ubicada en las cercanías de la ciudad de Barquisimeto, Estado Lara (Ver Figura 1.1). [4]

El Sistema está conformado por:

- 2168,1 Km. de tuberías de diferentes diámetros.
- 82 Estaciones de Válvulas Automáticas.
- 92 Estaciones de Regulación Primaria.

- 29 Estaciones de Entrega a Consumidores Mayores.

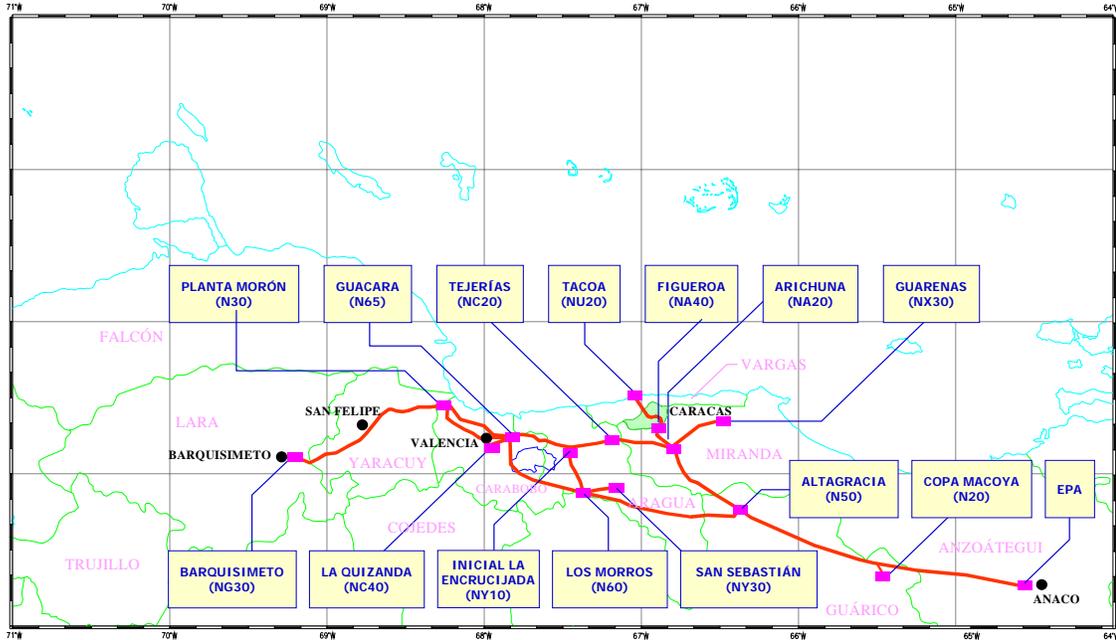


Figura 1.1. Plano Esquemático General del Sistema de Transporte de Gas Anaco-Barquisimeto. [4]

El Sistema de Transporte de Gas Anaco - Barquisimeto, como su nombre lo indica, inicia en la Estación Principal Anaco (EPA) ubicada en el Estado Anzoátegui, donde se recibe el gas proveniente de los yacimientos de los Distritos de Producción Anaco y Norte de Monagas, previo tratamiento y remoción de LGN en las plantas de procesamiento, para luego ser transportado a través de una vasta red de tuberías, de 2168,1 Km de longitud, cuyos diámetros varían entre 8" y 36", para abastecer a los consumidores ubicados en las regiones central y centro-occidental del país, hasta llegar a la Estación Terminal Barquisimeto (ETB, NG30), ubicada en el Estado Lara. Adicionalmente, el Sistema también recibe gas en la Estación de Válvulas Copa Macoya (N20), proveniente de la Planta de Deshidratación Teikoku, en el noreste del Estado Guárico. [4]

El Sistema se ha dividido en los siguientes Sub-Sistemas, a saber:

- Sub-Sistema Anaco-Altigracia. (1)
- Sub-Sistema Altigracia-Arichuna/Guarenas. (2)
- Sub-Sistema Arichuna-Figueroa.
- Sub-Sistema Figueroa- Litoral.
- Sub-Sistema Arichuna- Tejerías.
- Sub-Sistema Tejerías-Guacara.
- Sub-Sistema Altigracia-Guacara. (3)
- Sub-Sistema Guacara –La Quizanda.
- Sub-Sistema Guacara –Morón.
- Sub-Sistema Morón –Barquisimeto.

(1) Incluye el Gasoducto Copa Macoya-Caño Largo y la Planta Compresora Altigracia.

(2) Incluye el Gasoducto Arichuna-Guarenas.

(3) Incluye los gasoductos Los Morros-San Sebastián y Los Morros-La Encrucijada.

Cada Sub-sistema está conformado básicamente por:

- Una Estación de Válvulas Inicial, donde se recibe el gas que maneja el Sub-sistema. Esta es una estación con facilidades de sectorización e interconexión, envío y/o recibo de herramientas para la inspección y limpieza de las tuberías y telemetría como mínimo.
- Tuberías para el transporte del gas.
- Estaciones de Válvulas Intermedias para la sectorización y en algunos casos, interconexión de las tuberías.
- Una Estación de Válvulas Final, donde se entrega el gas, bien sea a otro Sub-sistema o a sistemas de distribución.
- Estaciones de Regulación Primaria (ERP), donde se regula la presión del gas a ser entregado a los Sistemas de Distribución correspondientes.
- Estaciones de Entrega a Consumidores Mayores. [4]

A continuación se presenta una descripción general del Sub-sistemas Guacara Morón.

Las estaciones de válvulas donde se realizarán los reemplazo de los actuadores se encuentra en este sub-sistema. Y las EVA's son: EVA Guacara (N65), EVA Universidad (N66), EVA El Café (N67), EVA La Corona (N68), Morón (N70). [4]

Este Sub-sistema está conformado por tres (3) tuberías principales que parten desde la Estación de Válvulas Guacara (N65), el Gasoducto y el Lazo, las cuales se inician con tuberías de  $\varnothing 12''$ , recorren 50,2 Km cada uno en forma paralela hasta llegar a la Estación de Válvulas El Palito (NE20), donde cambian a tuberías  $\varnothing 16''$  y continúan paralelos 9,5 Km hasta llegar a la Estación de Válvulas Planta Morón (NE30), ubicada en el Estado Carabobo: y el Nurgas de  $\varnothing 30''$ , de 65 Km de longitud, que aún cuando inicialmente se encuentra instalado en el mismo corredor que las anteriores, a partir de la Estación de Válvulas Intermedia Universidad (N66) se desvía para continuar por una ruta distinta hasta la Estación de Válvulas Morón (N70). Ver Figura 1.2.

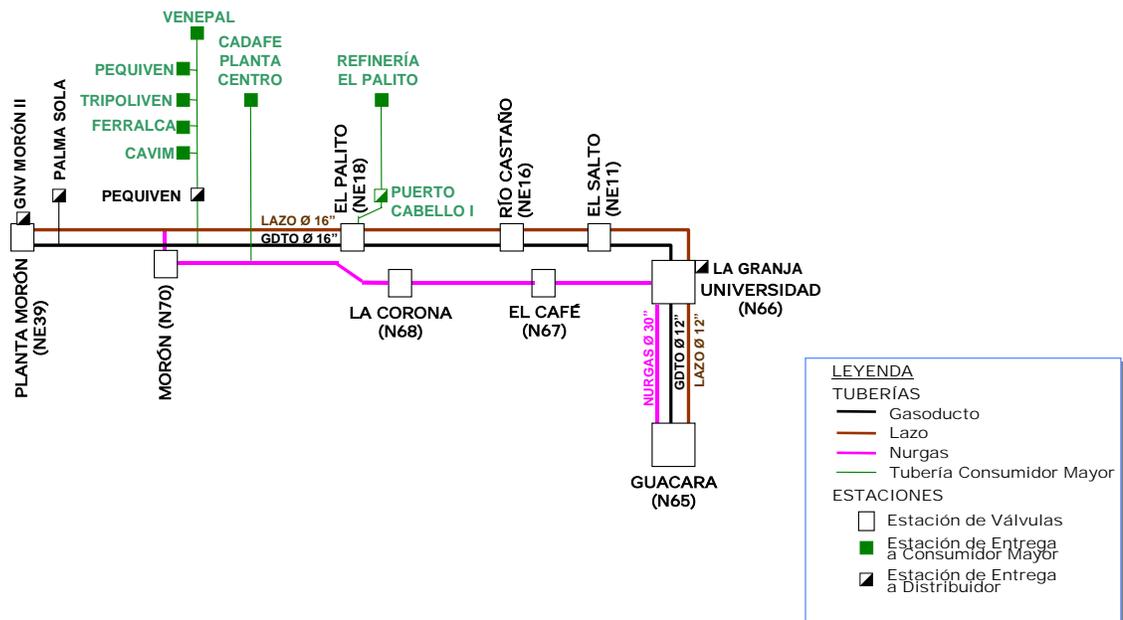


Figura 1.2. Sub-sistema Guacara – Morón. [4]

El Sub-sistema Guacara-Morón, cuenta con Estaciones de Válvulas de (NE11), Río Castaño (NE16), El Palito (NE18), El Café (N67), La Corona (N68), Morón (N70) y Planta Morón (NE39).

Para regular el gas a entregar a siete (7) Consumidores Mayores los cuales son: Refinería El Palito, Cadafe Planta Centro, Venepal, Pequiven, Tripoliven, Ferralca y Cavim, y a los Sistemas de Distribución, el Sub-sistema Guacara–Morón cuenta con cinco (5) Estaciones de Regulación Primaria (ERP), a saber: La Granja, Puerto Cabello I, Pequiven, Palma Sola y GNV Morón II.

Las Estaciones de Válvulas ubicadas a lo largo del recorrido de los gasoductos que componen el Sistema de Transporte Anaco-Barquisimeto permiten:

- Bloquear el flujo de gas en caso de mantenimiento a través de dispositivos de protección durante emergencias.
- Despresurizar o vaciar un tramo cualquiera de una línea de gasoducto para efectuar alguna tarea preventiva o correctiva.
- Flexibilizar las operaciones, desviando la corriente de gas de una tubería a otra en aquellas estaciones que poseen interconexiones.
- Supervisión y control a distancia de las operaciones de Transporte de gas.

Dependiendo de los requerimientos de Transporte de Gas, las Estaciones de Válvulas tienen instaladas facilidades que permiten ejecutar

las maniobras operativas requeridas para cada caso. Para ello cuentan con las siguientes facilidades operativas principales que pueden estar presentes solas o combinadas:

El arreglo típico de las facilidades operativas para sectorización de cada gasoducto, está dotado de una válvula principal de seccionamiento, que permite el cierre del flujo de gas. Esta válvula de seccionamiento es del tipo esfera, de apertura completa, con un diámetro interno igual al diámetro nominal del gasoducto y está dotada de un actuador Gas-Hidráulico, provisto de dispositivo de detección y disparo por reventón, que cierra la válvula automáticamente en caso de detectarse caídas bruscas de presión en el sistema de transporte. [4]

En la Figura 1.3, se muestra el arreglo típico de sectorización, como se puede observar las válvulas principales de seccionamiento en cada estación, poseen una tubería de desvío con tres válvulas de tapón en serie. Este arreglo, permite realizar operaciones de cierre de la válvula principal de seccionamiento sin afectar el transporte de gas; y adicionalmente facilita las actividades de barrido de aire con gas e igualar los niveles de presión entre los tramos del gasoducto.

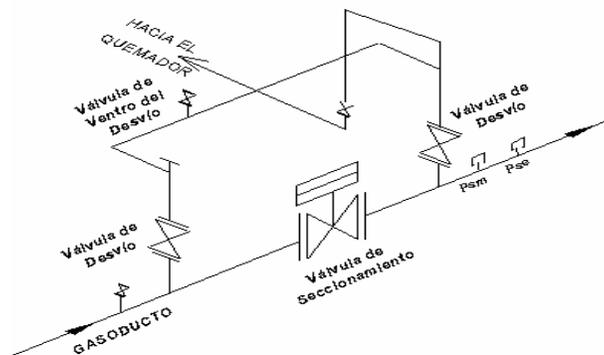


Figura 1.3. Esquemático General de Estaciones de Válvulas de Sectorización. [4]

Desde la tubería de desvío, por lo general, se deriva otra tubería que va hacia un quemador ubicado en la periferia de cada estación, que permite realizar labores de despresurización y/o barrido de aire a través de purga-quema de gas. [4]

Aguas arriba y aguas abajo de las válvulas de seccionamiento, existen accesorios para introducir balones, así como detectores mecánicos y electrónicos para el paso de herramientas de limpieza e inspección y además transmisores de temperatura electrónica, conformado por una termorresistencia alojada en un termopozo. Los valores de temperatura así obtenidos, son utilizados para el cálculo de empaque y la corrección del balance volumétrico del sistema. Igualmente existen transmisores que permiten supervisar permanentemente los valores de presión estática que está manejando la estación.

Las válvulas principales de sectorización existentes en las Estaciones de Válvulas están provistas de dispositivos de seguridad del tipo “cierre por rotura de línea” o “detección y disparo por reventón”, en caso de caída brusca de presión. Estas válvulas disponen de señalización de estado (Abierta/Cerrada) y están provistas de comandos remotos desde los Despachos de Gas, para el cierre e inhibición/desinhibición del sistema de detección de caída brusca de presión. Por razones de seguridad operacional, los comandos de apertura a distancia de las válvulas principales de sectorización han sido removidos permanentemente.

El arreglo de las facilidades típicas de Interconexión consiste en transferir gas desde un gasoducto a otro, en las Estaciones de Válvulas de Sectorización e Interconexión, los gasoductos disponen de una sección de tubería de interconexión aguas arriba y aguas abajo de cada válvula principal

de sectorización, las cuales incluyen dos (2) válvulas de paso, una válvula de interconexión que está provista de actuador mecánico y se encuentra normalmente abierta; la otra válvula de interconexión, posee actuador Gas-Hidráulico con facilidades de operación remota desde los centros de control y se encuentra normalmente cerrada. Ver Figura 1.4. [4]

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PDVSA Gas RCO, emitió un requerimiento técnico de ingeniería (RTI) para realizar el reemplazo de los actuadores Yugo Escocés (marca Limitorque), por unos actuadores Gas-Hidráulicos (marca Shafer) en cinco (5) Estaciones de Válvulas de Sectorización e interconexión, las cuales son: EVA Guacara (N65), EVA Universidad (N66), EVA El Café (N67), EVA La Corona (N68) y EVA Morón (N70), ubicadas en el Edo. Aragua y Carabobo, pertenecientes al Sub Sistema de Guacara – Morón que forman parte del Sistema de Transporte de Gas Anaco – Barquisimeto de PDVSA Gas.

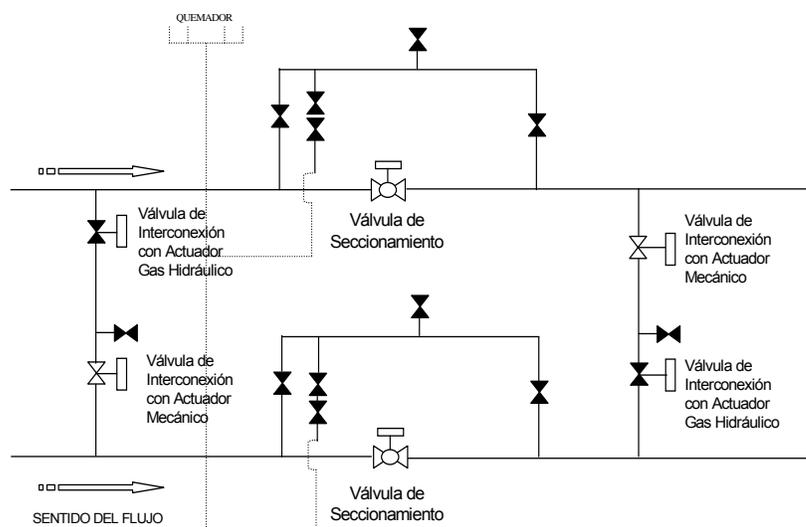


Figura 1.4. Esquemático Típico Estación de Válvulas de Sectorización e Interconexión. [4]

El motivo de este requerimiento, se debe a un proyecto de continuidad operacional de PDVSA Gas, de mejorar los componentes del sistema de transporte por otros de nueva tecnología para optimizar el funcionamiento, rendimiento de la producción, entre otros. Se estandarizarán todos los actuadores del Sistema de Transporte de Gas Anaco – Barquisimeto, por actuadores tipo Gas-Hidráulicos, debido a los buenos resultados que se han obtenido operativamente con este tipo de actuadores instalados, ya que toman el gas directamente de la línea de alta presión (Gasoducto) y lo utilizan para empujar el aceite hacia las cámaras internas y por lo tanto accionar el actuador (abrir / cerrar). Este diseño asegura que no se utiliza el gas a alta presión directamente para accionar el actuador.

Adicionalmente, no existe la posibilidad de intercambiar los componentes o repuestos de los actuadores tipo Gas-Hidráulicos por actuadores tipo Yugo Escocés.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo General**

Elaborar una Ingeniería de Detalle para reemplazarse actuadores Yugo Escocés (Limitorque) por actuadores Gas-Hidráulicos (Shafer) en cinco Estaciones de Válvulas Automáticas (EVA) del Sistema de Transporte de Gas Metano Anaco – Barquisimeto, en la Región Centro Occidente (RCO), de PDVSA Gas, garantizándose el correcto funcionamiento de las válvulas.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar las condiciones actuales en las Estaciones de Válvulas Automáticas.
- Dimensionar los actuadores de acuerdo a las condiciones de operación normal de las EVA's utilizando los procedimientos de cálculos correspondientes y las especificaciones del fabricante.
- Analizar cada uno de los resultados obtenidos del dimensionamiento y especificarse el actuador mas adecuado, para cada caso.
- Seleccionar los actuadores de Gas-Hidráulico mediante especificaciones y catálogos del proveedor.
- Elaborar la ingeniería de detalle, necesaria para el reemplazo de los actuadores Yugo Escocés (Limitorque) por actuadores Gas-Hidráulicos (Shafer).

### **1.5 JUSTIFICACIÓN**

La Gerencia de Operaciones de la RCO de PDVSA Gas, recomienda los actuadores de Gas-Hidráulico tipo Vena Rotativa, marca Shafer, ya que las piezas que pudieran sufrir mayor desgaste al momento de su activación están inmersos en aceite, al mismo tiempo, son comúnmente utilizados para automatizar válvulas de un cuarto de vuelta instaladas en líneas de transporte de Gas.

Los actuadores de Gas-Hidráulico tipo Vena Rotativa toman el gas directamente de la línea de alta presión (Gasoducto) y lo utilizan para empujar el aceite hacia las cámaras internas para accionar el actuador (abrir / cerrar). Este diseño asegura que no se utiliza el gas a alta presión directamente para accionar el actuador. Mientras que el actuador tipo Yugo Escocés, utiliza el gas de manera directa, para mover el pistón en la condición de abrir y cerrar, causando daños a los sellos del equipo. Por lo tanto, uno de los fines fundamentales de la ejecución de esta tesis es precisamente dimensionar, analizar, y seleccionar los actuadores de Gas-Hidráulicos aparte de elaborará la ingeniería de detalle para la correcta instalación y funcionamiento de los actuadores. Disminuyendo el trabajo al personal de operaciones en el mantenimiento preventivo y correctivo a estos equipos y mejorando la calidad de funcionamiento del Sistema de Transporte de Gas de PDVSA Gas.

## **1.6 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El alcance del presente trabajo contempla dimensionar, analizar y seleccionar los actuadores de Gas-Hidráulicos mas adecuados para las válvulas existentes en cada una de las Estaciones de Válvulas Automáticas (EVA) mencionadas anteriormente.

Para este trabajo se realizará un levantamiento de información en campo, además de investigar las condiciones de proceso de las EVA's, para posteriormente realizar la ingeniería de detalle requerida con la finalidad de proyectar el reemplazo de los actuadores de una manera mas especifica.

## **1.7 LIMITACIONES**

El desarrollo de la tesis esta limitada específicamente al dimensionamiento de los actuadores de Gas-Hidráulicos tipo vena rotativo para las válvulas existentes en las cinco (5) Estaciones de Válvulas Automáticas (EVA's) utilizando los procedimientos de cálculos y especificaciones del fabricante. Además del desarrollo de la ingeniería para realizar el reemplazo de los actuadores.

## **1.8 METODOLOGÍA**

Para cumplir exitosamente cada uno de los objetivos planteados con anterioridad, la metodología a seguir contempla la realización de los siguientes capítulos:

En el capítulo 1, se presenta la introducción, planteamiento del problema, el alcance, los objetivos, la justificación, las limitaciones, entre otros, con el fin de mostrar una visión general del proyecto a desarrollar.

En el capítulo 2, se presenta la información más relevante relativa a la investigación. Este capítulo incluye información recopilada en campo de las Estaciones de Válvulas Automáticas, (válvulas, actuadores, condiciones de procesos). Además de definir los aspectos más relevantes de los actuadores de Gas-Hidráulicos, sistema de control, entre otros. Además en este capítulo se constituyen las bases teóricas aplicable a la investigación y que facilitará a su vez la comprensión de los criterios de selección de las condiciones más optimas de los actuadores Gas-Hidráulicas que se define en capítulos posteriores.

En el capítulo 3, se presentan los criterios y consideraciones para la selección de los actuadores. Además del dimensionamiento de los actuadores y el análisis de los resultados obtenidos.

En el capítulo 4, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la tesis.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 INFRAESTRUCTURA TÍPICA ESTACIONES DE VÁLVULAS**

A continuación se describe a grandes rasgos la infraestructura típica con que cuenta, como mínimo, todas las Estaciones de Válvulas del Sistema.

#### **2.1.1 Caseta de Telemetría**

Las Estaciones de Válvulas Automáticas cuentan con sistema de telemetría, dentro de la cual está localizada la Unidad Terminal Remota (RTU), un cargador de baterías, un estabilizador de voltaje DC, un banco de baterías con capacidad de ocho (8) horas de autonomía, un panel de barras de seguridad intrínseca, un tablero de alimentación eléctrica y un equipo de radio – telecomunicación que pertenece al sistema de Telecomunicaciones propio de PDVSA (éste último no será considerado como parte integral del Sistema). [4]

Las RTU permiten mantener un continuo monitoreo de las condiciones de operación en la estación y del estado de las válvulas, con el Despacho de Gas ubicado en Caracas, Edificio Sucre.

Adicionalmente la Caseta de Telemetría cuenta con un tablero de servicios generales que tiene como función alimentar las cargas generales en la caseta, como alumbrado interno, telemetría y tomacorrientes entre otras.

Las Casetas de Telemetría ocupan un área de 19 m<sup>2</sup> aproximadamente. En la mayoría de los casos, son de concreto armado, presentan dos accesos, ya que el área interna se encuentra dividida en dos ambientes independientes. Generalmente el tipo de ventilación de esta edificación es forzada y en ella se ubica un extractor, que se encuentra protegido por una malla de mosquitero, también se ubican los equipos de telemetría, baterías y cargadores. A un lado de la caseta se ubica la antena de comunicaciones

El área que rodea a la caseta de telemetría por lo general, se encuentra cubierta con piedra picada y cercada en su totalidad.

### **2.1.2 Sistema de Recolección de Aguas de Lluvia**

El área de las Estaciones de Válvulas se encuentra más elevada con relación al resto del terreno que la rodea, de manera de facilitar la descarga del agua de lluvia. Para proteger el área de la Estación de Válvulas, se cuenta con una canal en forma de "V" que recolecta este caudal y lo descarga al punto más bajo fuera del área de la estación. [4]

### **2.1.3 Plataformas y Soportes**

Con el objeto de dar acceso para la operación de las diferentes válvulas y equipos ubicados en cada estación, se dispone de pasarelas y plataformas metálicas construidas con angulares Sidor, grado PS-25, planchas y pletinas grado ASTM-A-36 y perfiles tubulares A-53-Grado B, con conexiones soldadas. Igualmente se ubican un gran número de soportes de tuberías metálicos fabricados con los mismos materiales indicados anteriormente.

Las plataformas y los soportes se encuentran anclados, unos sobre pedestales y otros directamente sobre la losa de piso de concreto. En algunos casos, los soportes para tuberías menores a Ø20" fueron anclados directamente en la losa. [4]

#### **2.1.4 Cercas Perimetrales**

El área de las estaciones de Válvulas y de las edificaciones está protegida con cerca malla de acero galvanizada calibre 9 tejida en malla 2", embutida por un brocal de 15 cm. de ancho por 20 cm. de profundidad. Esta cerca finaliza en su parte superior en una "Y" con tres pelos de alambres de púas a cada lado. [4]

#### **2.1.5 Losa de Piso**

Las Estaciones de Válvulas se encuentran ubicadas por lo general, sobre una losa de piso de 15 cm. de altura, apoyada sobre una capa de piedra picada de 10 cm. Las áreas de la losa que sirven de apoyo directo a las tuberías fueron reforzadas con acero.

### **2.2 ESTACIONES DE REGULACIÓN PRIMARIA (ERP)**

Las Estaciones de Regulación Primaria tienen como función regular la presión del gas proveniente del gasoducto o de la Estación de Válvulas, según sea el caso, a los parámetros de operación permitidos y comprometidos para cada ramal.

Por lo general, están conformadas por tres (3) válvulas de seccionamiento principal del tipo tapón, para la tubería de entrada, desvío y

salida, dotada de actuadores manuales, para ser operadas en sitio por técnicos de la Gerencia de Operaciones de PDVSA. Como elemento de seguridad tiene una válvula de alivio, para evitar sobre presiones. [4]

Los niveles de presión son regulados a través de un elemento regulador, que puede ser sencillo o doble. En este último caso, la regulación puede realizarse mediante una operación tipo cascada, a través de dos o más válvulas reguladoras dispuestas en serie, para la cual puede contarse o no con un Sistema monitor activo, controlado con la válvula activa mediante el sistema de telemetría. Este caso se da para estaciones que manejan grandes volúmenes de gas, también constan de válvulas tipo aguja para la disposición de manómetros. Las salidas de estas ERP's representan el límite entre el Sistema de Transporte de gas y el Sistema de Distribución de Gas. Dependiendo de su magnitud, pueden poseer filtros separadores, con su tanque recolector de condensado, con facilidades de disponer los mismos mediante camiones cisternas. Ver Figura. 2.1.

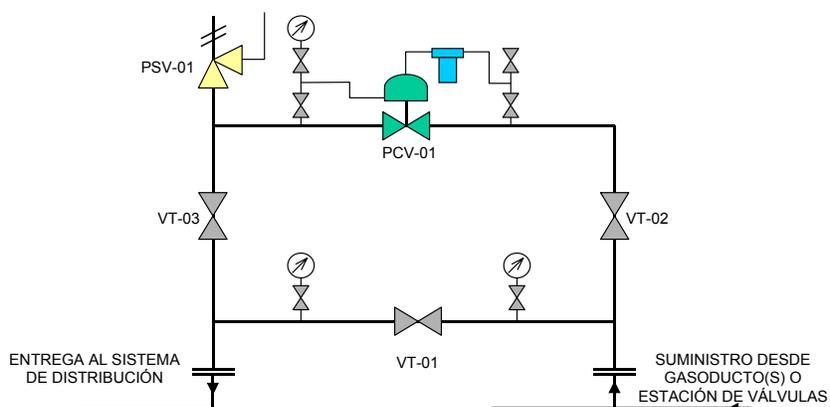


Figura 2.1. Esquemático Típico de una ERP [4]

### **2.2.1 Estaciones de Entrega a Consumidores Mayores**

Las Estaciones de Entrega a Consumidores Mayores tienen como funciones principales regular la presión de entrega a los valores establecidos contractualmente para cada cliente en particular; la medición de flujo para efectos de facturación y la depuración del gas a través de separadores gas-líquido, para retener el líquido condensado que pudiera surgir durante contingencias operacionales que afecten la calidad del gas. A la salida de las Estaciones de Entrega, la propiedad y responsabilidad del manejo del gas es transferida al cliente respectivo. En la Figura 2.1 se muestra un esquemático de una EMR de un Consumidor Mayor. [4]

Las Estaciones de entrega a los Consumidores Mayores son supervisadas y controladas desde los Centros de Control en el Despacho de Gas Principal ubicado en el Edificio Sucre en Caracas, a través de una infraestructura y equipamiento para transmisión y procesamiento de datos similares a los descritos para las Estaciones de Válvulas. La calidad de los puntos de entradas y salidas, analógicos y discretos, está definida en la base de datos de PDVSA Gas.

Los equipos de radio-telecomunicación, las antenas y otras facilidades para la transmisión de datos vía micro-ondas ubicados en las Estaciones de Entrega, forman parte integral del sistema SISUCO de PDVSA que permite la telecomunicación de datos desde las RTU hasta los Centros de Control de la red de gasoductos. Tales equipos, seguirán siendo propiedad exclusiva de PDVSA.

Desde el punto de vista operacional, el Sistema contempla la operación de las estaciones en condiciones normales y en condiciones de emergencia.

La operación en condiciones normales, considera que la estación se encuentra presurizada y que a su salida la calidad del gas y las condiciones de presión, temperatura y volumen satisfacen los compromisos establecidos con los clientes.

Una condición de contingencia y/o emergencia se define cuando sucede cualquiera de los siguientes escenarios:

- Alta o baja presión a la entrada de la estación.
- Alta o baja presión de entrega al cliente.
- Disparo de válvulas de seguridad.
- Bloqueo de válvulas principales.
- Presencia de líquidos que afecten al cliente.
- Incendio por fuga de gas en la estación.

En estos casos se utilizan los respectivos planes de acción y control de contingencias y/o emergencias, donde se exponen los procedimientos operacionales a seguir.

Los equipos e instrumentos de las Estaciones de Entrega a los Consumidores Mayores, son sometidos a planes de mantenimiento predictivo y preventivo. El alcance y frecuencia de éstos se definen y ejecutan conforme a lo establecido en el Sistema Integral de Mantenimiento “SIM”, y contemplan acciones de inspección visual, lubricación de válvulas, mantenimiento a la

instrumentación neumática y electrónica de campo, así como de revisión y/o sustitución periódica de componentes.

Todas las instalaciones se encuentran aisladas eléctricamente de las tuberías que las alimentan mediante juntas bridadas con empacaduras aislantes a la entrada de cada una de ellas, y han sido diseñadas y construidas bajo las mismas normas nacionales e internacionales indicadas para las Estaciones de Válvulas, con la diferencia que en muchos casos los equipos, válvulas y accesorios que las conforman son de clasificación ANSI 300 ó 150.

### **2.2.2 Filosofía de Mantenimiento**

El Sistema de Transporte de PDVSA Gas, está regido por un plan de mantenimiento preestablecido y programado en el tiempo. De igual manera, la coordinación de la ejecución de estos trabajos está claramente establecida y en concordancia con los objetivos de la organización. Además, el plan programado de mantenimiento es flexible con los requerimientos de las operaciones y se adapta a las condiciones presupuestarias y de recursos. [4]

Todas las actividades de mantenimiento son realizadas bajo regulaciones nacionales, en lo que se refiere a las condiciones de trabajo y al medio ambiente, además los aspectos puramente técnicos también están regulados y obedecen a un conjunto de normas Nacionales e Internacionales.

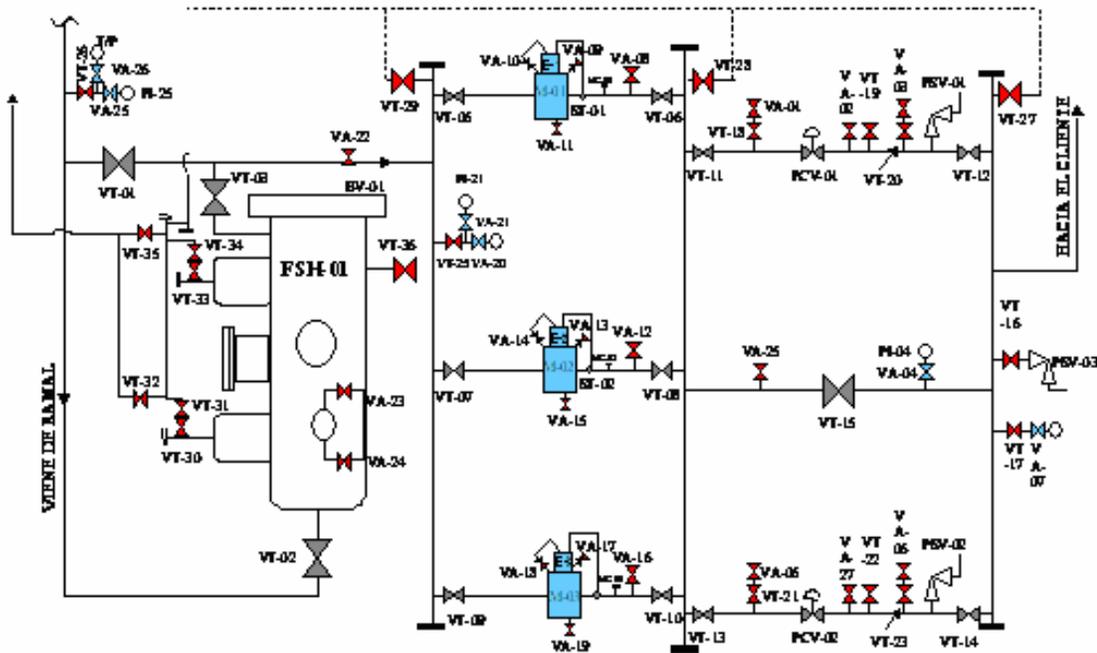


Figura 2.2. Esquemático de una de las EMR de Grandes Consumidores [4]

Seguimiento de la Gestión de Mantenimiento, asegurando la integridad, calidad y oportunidad de la información. Esta aplicación funciona a través de un computador central y está conformado por los módulos de control de órdenes, de mantenimiento preventivo, de mantenimiento predictivo, de tablas de sistemas y del módulo del cliente.

El Sistema de Transporte está constituido básicamente por tuberías, Estaciones de Válvulas de Sectorización y/o Interconexión y Estaciones de Regulación Primaria para la entrega del gas a los Sistemas de Distribución, con sus equipos e instrumentos asociados y los Sistemas de Protección Catódica correspondientes.

PDVSA posee políticas de mantenimiento preventivo y predictivo bien establecidas, permitiendo optimizar las frecuencias de ejecución y detectar a tiempo las posibles fallas.

El mantenimiento predictivo permite determinar, mediante planes periódicos de inspección y monitoreo en operaciones, cuando es inminente una falla para intervenir el equipo en forma programada y oportuna.

El mantenimiento preventivo permite garantizar la continuidad operacional del Sistema y minimizar las posibilidades de fallas, a través de planes de calibración, pruebas y reemplazos periódicos de los equipos. Tales intervenciones son ejecutadas durante paradas programadas para tal fin.

Como política para el mantenimiento de gasoductos, se estableció la codificación por tramos de tubería comprendidos entre una trampa de envío y una trampa de recibo de herramientas de inspección y limpieza. Todos los elementos asociados a un tramo de tubería, a excepción de los sistemas de protección catódica por corriente impresa, a lo largo de su trayectoria (pica, obras civiles, soportes, postes de medición de potenciales, marcadores y de avisos, accesorios para perforación y obturación, etc.) son considerados accesorios del mismo y cualquier trabajo para su mantenimiento, mejora o adecuación se le imputa al tramo.

En los sistemas de protección catódica por corriente impresa, los rectificadores se codifican como equipos en el sistema de mantenimiento y el resto de los componentes se consideran accesorios del mismo, éstos se encuentran bajo una política de mantenimiento predictivo.

### **2.2.2.1 Planes de Mantenimiento Predictivo**

Algunas de las siguientes actividades de mantenimiento se realizan con frecuencia fija, mientras que otras se desarrollan en períodos extraordinarios. A continuación se presenta un resumen del alcance de cada una de estas actividades:

### **2.2.2.2 Inspecciones Visuales**

Estas inspecciones se realizan con el objetivo de detectar, medir, evaluar y registrar, anomalías en las tuberías de gas y accesorios conexos, así como en las rutas de las mismas.

Las inspecciones visuales se realizan con una frecuencia anual, generalmente después de los períodos de lluvia, y se ejecutan mediante el recorrido paso a paso de la ruta de las tuberías y sus resultados derivan en acciones de mantenimiento que son registradas en formatos para su clasificación, jerarquización por criticidad y ejecución oportuna. Aplican para gasoductos, lazos y ramales principales. [4]

Adicionalmente, según programa y de acuerdo a las circunstancias operacionales particulares de cada línea, las rutas de las tuberías de transporte son sobrevoladas en helicóptero con el fin de detectar situaciones indeseables como socavaciones, derrumbes, desarrollo de actividades en zonas protectoras de gasoductos, presencia de terceros o cualquier otra anomalía.

El tipo de información reportada en los informes de Inspección Visual paso a paso elaborado por el personal de mantenimiento, contempla en forma general los siguientes aspectos asociados a las tuberías:

- Condiciones del medio ambiente; condiciones del terreno, cruces de carreteras, cruces de ríos y quebradas, interferencias con terceros, defensas viales, localización de tramos enterrados / aéreos, etc.
- Condiciones de los soportes de la tubería.
- Inventario de avisos de señalización de peligro.
- Indicadores de progresivas.
- Revisión / evaluación de accesos.

### **2.2.2.3 Inspecciones instrumentadas**

Se efectúan fundamentalmente con el objeto de conocer la condición en cuanto a pérdidas de espesor de pared de la tubería se refiere, causadas por corrosión interna o externa, desgarres, rayaduras, erosión, etc., así como para detectar cambios en la geometría de la tubería tales como abolladuras. [4]

Las frecuencias de ejecución de la misma oscilan entre 4 y 8 años dependiendo de factores tales como edad, espesor, material de la línea, presión de operación, clasificación demográfica y características de la ruta.

Las inspecciones instrumentadas se efectúan con herramientas electromagnéticas impulsadas desde trampas de envío hasta trampas de recibo, las cuales están ubicadas a lo largo del Sistema de Transporte, cuyas características están descritas en el Capítulo 2 de cada uno de los documentos descriptivos que conforman el Sistema de Transporte de Gas Anaco-Barquisimeto y cubren las siguientes actividades:

- Inspección geométrica interna, a fin de detectar abolladuras en la tubería.
- Detección de pérdidas de espesores, mediante una herramienta para detección de corrosión.
- Preparación del Informe Preliminar.
- Preparación del Informe Final.

Los informes de inspección emitidos, son analizados y validados por la Superintendencia de Inspección y Corrosión de la Gerencia de Mantenimiento de PDVSA Gas y sus conclusiones se traducen en recomendaciones de acciones a las Áreas Operacionales, cuyo cumplimiento permite mantener los gasoductos dentro de los parámetros de operación para los cuales fue diseñado.

### **2.3 VÁLVULAS DE CONTROL**

Las válvulas de control son el regulador básico en cualquier proceso en que manejen corrientes de fluidos. Por ello, hay que conocer a fondo los diferentes tipos de estas válvulas y sus características de flujo. Esto permite

satisfacer las condiciones del proceso y tener la instalación correcta en el sistema para fluidos. [5]

El cuerpo interior de la válvula de control contiene en su interior un obturador y los asientos y esta provista de roscas o bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotatorio. Esta unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.

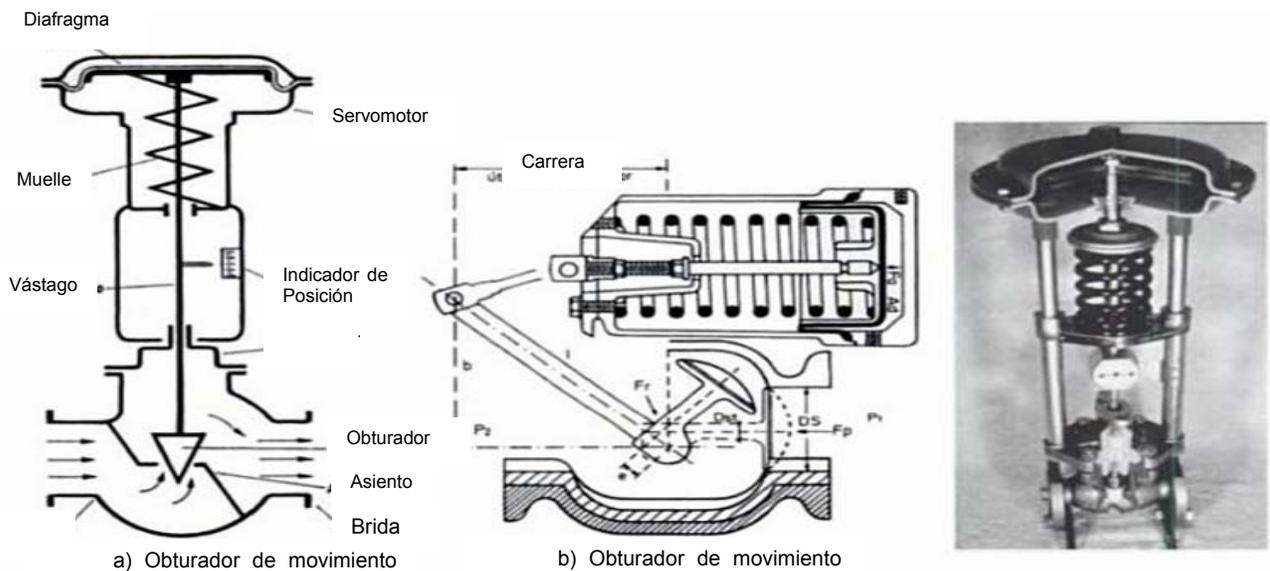


Figura 2.3 Válvula de control típica (Fuente: *Honeywell*). [5]

### **2.3.1 Tipos Principales de Válvulas de Control**

En las siguientes descripciones breves, solo se dan las características generales de cada válvula de control, para información completa de una válvula específica, hay que consultar las publicaciones de los fabricantes.

Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Básicamente se clasifican en dos grandes grupos; Válvulas con obturador de movimiento lineal y válvula con obturador de movimiento rotativo. Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje se clasifican en válvulas de globo, válvula en ángulo, válvula de tres vías mezcladora o diversora, válvula de jaula, válvula de compuerta, válvula en Y, válvula de cuerpo partido, válvula Saunders y válvula de compresión. [5]

### **2.3.2 Válvula De Globo**

Llamada así por disponer de un obturador en forma de globo, se caracteriza porque el flujo de entrada o salida es perpendicular al eje del obturador. Pueden verse en la figura 2.4 a, b y c y son de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado.

Las válvulas de simple asiento, que cierran en contra de la presión del proceso, precisan de un actuador de mayor tamaño. Por lo tanto, se emplean cuando la presión diferencial del fluido baja y se precisa que las fugas a través de la válvula con el obturador en posición de cierre, sean las mínimas.

En la válvula de doble asiento o de simple asiento con obturador equilibrado, la fuerza desequilibrio desarrollada por el fluido a través del

obturador es menor que en la válvula de simple asiento. Esto es que debido a que en la válvula de doble asiento, el fluido actúa en sentidos contrarios sobre los obturadores, y en la válvula con obturador equilibrado lo hace por encima y por debajo del único obturador. Por este motivo se emplean en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de cierre, las fugas a través de la válvula son mayores que en una válvula de simple asiento, debido a que es mecánicamente imposible que el doble obturador asiente perfectamente sobre los dos asientos. [5]

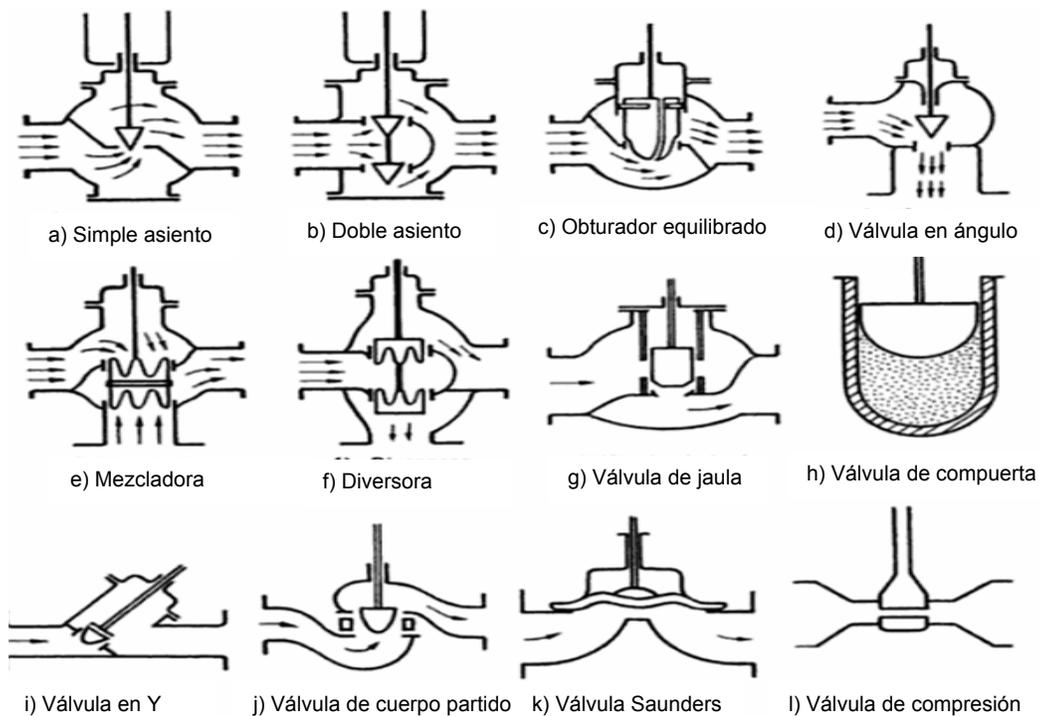


Figura 2.4 Válvulas de control con obturadores de movimiento lineal [5]

### 2.3.3 Válvula de Ángulo

La válvula de ángulo (ver figura 2.4-d) presenta un flujo de salida perpendicular al flujo de entrada con un recorrido menos curvilíneo que en una válvula de globo, por lo que permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es además adecuada para sustituir a una válvula de globo cuando el fluido circula con sólidos en suspensión o a excesiva velocidad provocada por una alta presión diferencial de trabajo. [5]

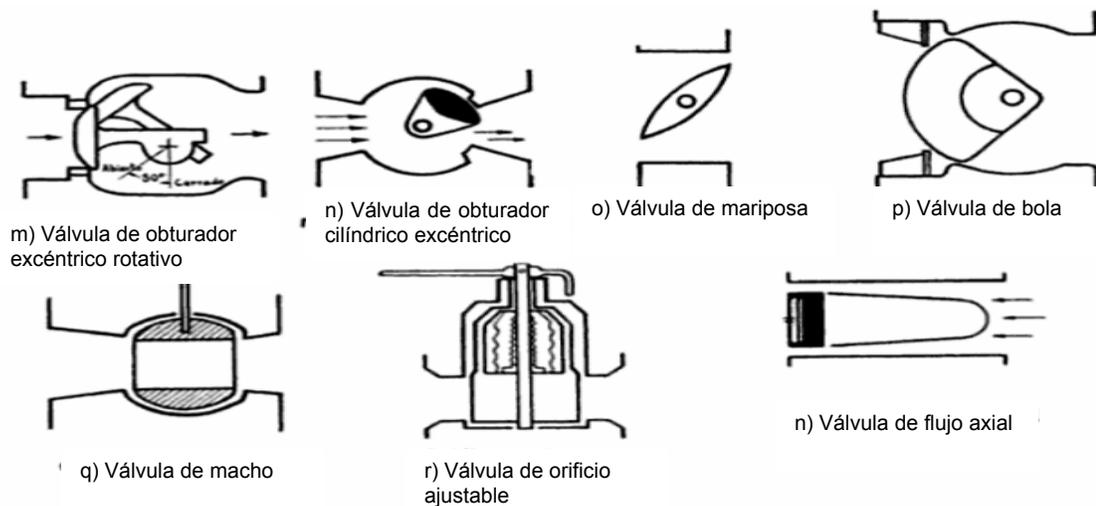


Figura 2.5 Válvulas de control con obturadores de movimiento circular [5]

El diseño de una válvula idónea para el control de fluidos que vaporizan (flashing), es decir, para los fluidos que, dentro del estrechamiento existente en la parte interna (entre el obturador y el asiento) y debido a una alta presión diferencial, han aumentado su velocidad y se encuentran a una presión inferior al punto de vaporización. En estas condiciones, el fluido está en estado líquido a la entrada y salida de la válvula y en estado de vapor/líquido dentro de la misma. De este modo las burbujas de vapor

formadas, implosionan (pasan a líquido) y pueden provocar daños mecánicos graves al chocar contra la parte interna o contra el cuerpo de la válvula.

#### **2.3.4 Válvulas de Tres Vías**

Las válvulas de tres vías se emplean generalmente para mezclar fluidos – válvula mezcladora (ver figura 2.4 –e), o bien para derivar de un flujo de entrada dos de salida – válvula diversora (ver figura 2.4-f).

La válvula de tres vías interviene típicamente en el control de temperatura de intercambiadores de calor, facilitando un control muy rápido de la temperatura, gracias a que el fluido de calefacción (vapor o fluido térmico) puede derivar a través de la válvula, sin pasar por el intercambiador. [5]

#### **2.3.5 Válvula de Jaula**

La válvula de jaula (ver figuras 2.5 y 2.6) recibe esta denominación por la forma de jaula que tiene, bien con los orificios dispuestos en una jaula fija en cuyo interior desliza el obturador en cuyo caso se denomina válvula de jaula fija o bien con orificios en el obturador, en cuyo caso se denomina válvula de jaula móvil.

Las presiones diferenciales correspondientes a la posiciones de completa apertura y de cierre; se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada.

La válvula de mariposa se emplea para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión. [5]

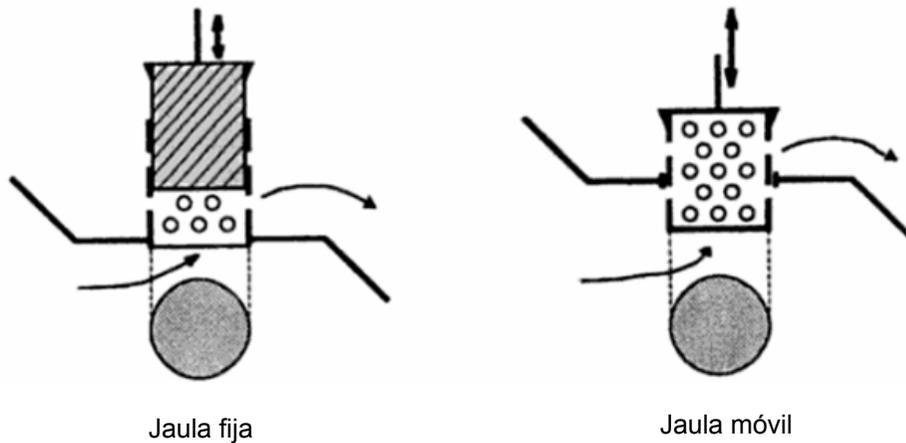


Figura 2.6 Válvulas de jaula.

### 2.3.6 Válvula de Bola

En la válvulas de bola, el cuerpo tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola (de ahí su nombre). La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre esta válvula se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula esta cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño al 75% del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control del caudal de fluido negro, o bien en fluidos de grandes porcentajes de sólidos en suspensión. El tipo de válvula más común es la válvula de bola segmentada, llamada así por la forma de segmento esférico del obturador (ver figura 2.7). [5]

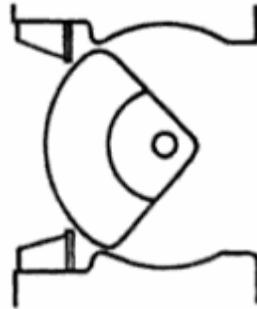


Figura 2.7 Válvula de Bola

### 2.3.7 Válvula de Macho

Es una válvula de bola típica (ver figura 2.5-q) que consiste en un macho u obturador de forma cilíndrica o troncocónica con un transversal igual al diámetro interior de la tubería. El macho ajusta en el cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de giro de  $90^\circ$ .

Se utiliza generalmente en el control manual todo – nada de líquidos o gases y en regulación de caudal. [5]

### 2.3.8 Válvula de Orificio Ajustable

En esta válvula el obturador consiste en una camisa de forma cilíndrica que esta perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida y gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor. El giro del obturador tapa parcialmente las entradas y salidas de las válvulas controlando así el caudal. La válvula incorpora además una tarjeta cilíndrica que puede deslizarse dentro de la camisa gracias a un macho roscado de accionamiento exterior. La tarjeta puede así fijarse manualmente

en una posición determinada para limitar el caudal máximo (ver figura 2.8).  
[5]

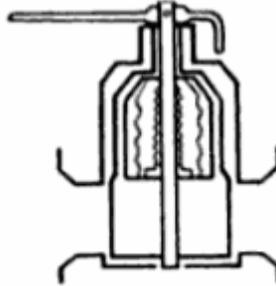


Figura 2.8 Válvula de Orificio Ajustable

### 2.3.9 Válvula de Flujo Axial

Esta válvula consiste en un diafragma accionado neumáticamente que mueve un pistón, el cual a su vez comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero. De este modo, el obturador se expande para cerrar el flujo anular del fluido. Este tipo de válvula se emplea para gases y es especialmente silenciosa. Otra variedad de la válvula de flujo axial es la válvula de manguito, que es accionada por compresión exterior del manguito a través de un fluido auxiliar a una presión superior a la del propio fluido. Se utiliza también para gases (ver figura 2.9). [5]

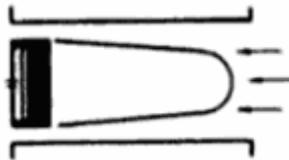


Figura 2.9 Válvula de Flujo Axial

## 2.4 ACTUADORES

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”. [6]

### 2.4.1 Historia

El actuador más común es el actuador manual o humano. Es decir, una persona mueve o actúa un dispositivo para promover su funcionamiento. Con el tiempo, se hizo conveniente automatizar la actuación de dispositivos, por lo que diferentes dispositivos hicieron su aparición. Actualmente hay básicamente dos tipos de actuadores:

- Lineales.
- Rotatorios.

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico. [6] En este trabajo nos concentraremos en los actuadores rotatorios. En la próxima actualización tocaremos el tema de los actuadores lineales. Como ya se mencionó, hay tres tipos de actuadores:

- Neumáticos.

- Eléctricos.
- Hidráulicos.

## 2.4.2 Funcionamiento

Es importante comprender el funcionamiento de los actuadores para su correcta aplicación. [6]

Funcionamiento del actuador Rotatorio: El objetivo final del actuador rotatorio es generar un movimiento giratorio. El movimiento debe estar limitado a un ángulo máximo de rotación. Normalmente se habla de actuadores de cuarto de vuelta, o 90°; fracción de vuelta para ángulos diferentes a 90°, por ejemplo 180°; y de actuadores multivuelta, para válvulas lineales que poseen un eje de tornillo o que requieren de múltiples vueltas para ser actuados. La variable básica a tomar en cuenta en un actuador rotatorio es el torque o par; también llamado momento. Y es expresado en lb-in, lb-pie, N-m, etc. El actuador rotatorio dependiendo de su diseño, consta de las siguientes partes móviles básicas:

Tabla 2.1 Partes Móviles de Actuadores. [6]

	<b>ACTUADOR NEUMÁTICO</b>	<b>ACTUADOR ELÉCTRICO</b>	<b>ACTUADOR HIDRÁULICO</b>
<b>Fuerza Generadora de Movimiento</b>	Presión de aire	Energía eléctrica	Presión hidráulica
<b>Elemento Motriz</b>	Émbolo, Pistón o Veleta	Motor Eléctrico	Émbolo, Pistón o Veleta
<b>Transmisión de Fuerza o Torque</b>	Eje o Cremallera	Reductor	Eje
<b>Conversión mecánica</b>	Yugo o Piñón	- No hay -	Yugo o Piñón

### 2.4.3 Actuador Rotatorio Neumático

Para hacer funcionar el actuador neumático, se conecta aire comprimido a uno de los lados del émbolo o veleta (en adelante, solo “émbolo”) generando una fuerza en sentido de la expansión del espacio entre el émbolo y la pared del cilindro o el cuerpo. [6]



Figura 2.10 Actuador de Veleta Única (*Rotary Vane*). [6]

Mediante un dispositivo mecánico que puede ser el conjunto piñón y cremallera, yugo escocés, o una simple veleta, el movimiento se transforma en rotatorio. Para mover el actuador en sentido contrario es necesario introducir aire comprimido en el lado opuesto del émbolo. El torque que genera el actuador es directamente proporcional a la presión del aire comprimido, pero dependiendo de su diseño puede ser variable de acuerdo a la posición actual del actuador. Es decir, supongamos que el movimiento del actuador rotatorio está definido en el rango de 0% a 100% de su movimiento. El torque de salida en 0% es en algunos casos diferente al torque de salida cuando está en la posición 50%. A mayor abundamiento, en realidad lo que se tiene es una curva de torques en función de la posición del actuador. ¿Es esto una desventaja? No necesariamente, esta variabilidad de hecho es beneficiosa para la mayoría de las válvulas, ya que permite ajustar más el

tamaño del actuador, pudiendo incluso bajar un modelo o dos al seleccionado originalmente.

Hoy existen 3 tipos de actuadores neumáticos:

- Piñón y cremallera.
- Yugo escocés.
- Veleta.

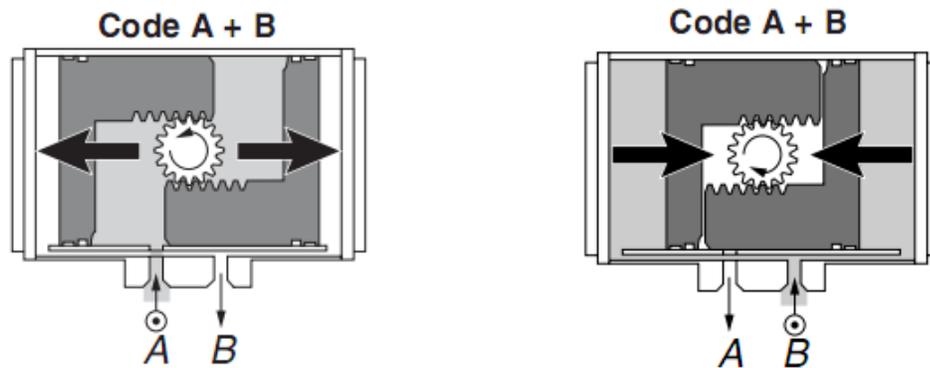


Figura 2.11 Actuador de Piñón y Cremallera (*Rack & Pinion*). [6]

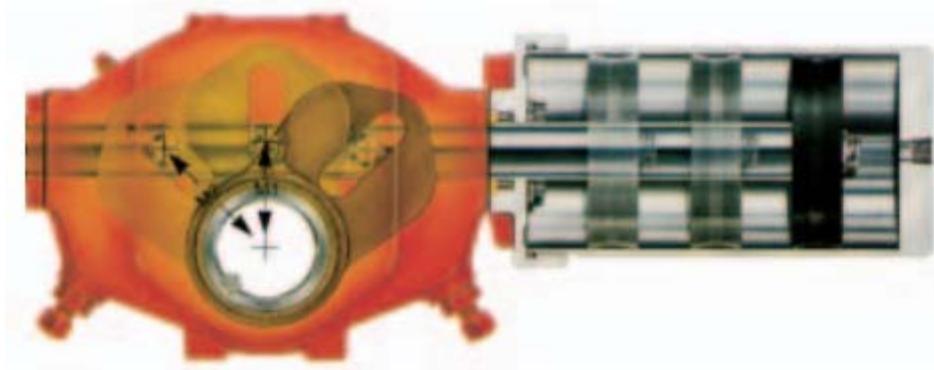


Figura 2.12 Actuador de Yugo Escocés (*Scotch Yoke*). [6]

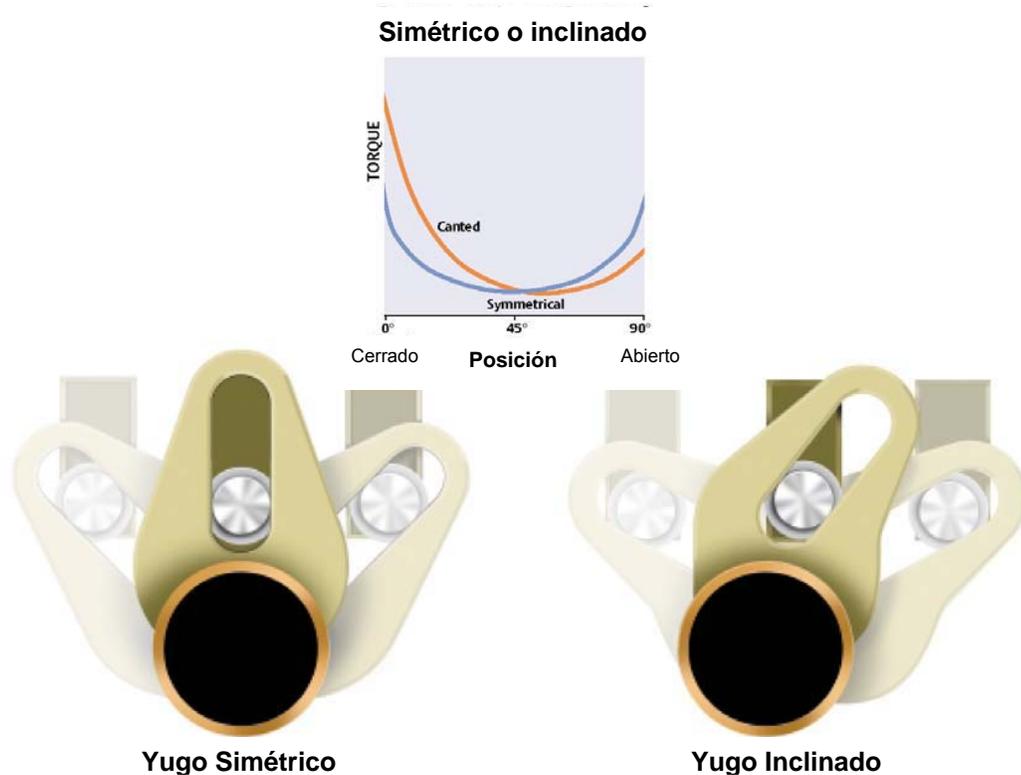


Figura 2.13 Curva de Torque para Yugo Escocés Simétrico y Yugo Escocés Inclinado. [6]

A continuación se tiene una tabla de las principales características de ambos tipos de actuadores.

Tabla 2.2 Características de Actuadores [6]

TIPO	RANGO DE MOVIMIENTO(*1)	TIPO DE TORQUE	RANGO DE TORQUE
Piñón y Cremallera	0° a 90°(180° y 270°)(*2)	Constante	Torques Bajos y Medios
Yugo Escocés	0° a 90°	Variable	Torques Medios y Altos
Veleta	0° a 90° (180° y 270°)(*2)	Constante	Torques Bajos

Nota (\*1) Los rangos de movimiento de los actuadores usualmente son ajustables en rangos +/-1° en cada lado hasta +/- 5° a cada lado o mas.  
Nota (\*2) También disponible en 180° y muy raramente en 270°.

#### 2.4.4 Dimensionamiento de un Actuador Neumático Rotatorio

- Primero se debe determinar el torque que se necesita para generar el movimiento rotatorio. Este torque puede ser expresada en N-m, lb-in, lb-ft, etc. (Newton-metros, libras-pulgadas o libras-pié, etc.). El fabricante de la válvula debe suministrar este dato. Usualmente está publicado en su sitio web.
- No olvidar considerar la presión de la línea, que muy posiblemente lucha en contra del actuador.
- Establecer el porcentaje de sobre dimensionamiento. Usualmente y dependiendo del tamaño y diseño de la válvula, entre 10% y 50% de sobre dimensionamiento.
- Segundo, debe establecerse la carrera angular del actuador (¿90°, 180°?).
- Tercero, conseguir la presión mínima de aire disponible en el punto. Es en esta situación en la que el actuador está en su peor condición. La válvula debe ser actuada aún cuando la presión de aire caiga al mínimo. También se debe conseguir la presión máxima esperada, y compararla con la presión máxima que soporta el actuador y con el torque máximo que soporta el eje de la válvula.
- Cuarto, con los torques ya determinados, y recurriendo a las tablas de torque de los diferentes modelos, se puede escoger un modelo adecuado para la aplicación. Es importante determinar el factor final de sobre dimensionamiento que se calcula dividiendo el torque del

actuador por el torque original requerido por la válvula. Por ejemplo, si el torque original requerido de una válvula es de 3600 lb-in y se utiliza un porcentaje de 30%, es decir multiplicamos por 1,30 encontramos que se requiere un actuador de 4680 lb-in (la presión disponible de aire es 80 psi-mín); hay un modelo XX0350 que entrega 3547 lb-in que no es suficiente; el siguiente tamaño XX0600 entrega 6028 lb-in que es mas que suficiente. Sin embargo, el factor ya no es 1,30, si no que 1,67. Es importante tenerlo en cuenta para no perder de vista cuanto torque realmente estamos entregando a la válvula, sobre todo cuando el cliente o el ingeniero suministran el torque máximo admisible para el vástago de la válvula.

- Verificar el torque máximo admisible para el vástago de la válvula.
- Establecer los controles que gobernarán al actuador: Posicionador, válvulas solenoides, interruptores de carrera, transmisores de posición, etc.
- Si el torque máximo a máxima presión de aire supera el torque máximo admisible del vástago de la válvula, debe considerar instalar un regulador de presión para limitar la presión máxima de aire. [6]

#### **2.4.5 Actuador Hidráulico Rotatorio**

Para hacer funcionar el actuador hidráulico, se conecta la presión hidráulica a uno de los lados del émbolo o veleta (en adelante, solo “émbolo”) generando una fuerza en sentido de la expansión del espacio entre el émbolo y la pared del cilindro o el cuerpo. Mediante un dispositivo mecánico que puede ser el conjunto piñón y cremallera, yugo escocés, o una simple veleta,

el movimiento se transforma en rotatorio. Para mover el actuador en sentido contrario es necesario introducir aire comprimido en el lado opuesto del émbolo. El torque que genera el actuador es directamente proporcional a la presión de aceite hidráulico, pero puede ser variable de acuerdo a la posición actual del actuador, si el actuador es de Yugo Escocés. [6]

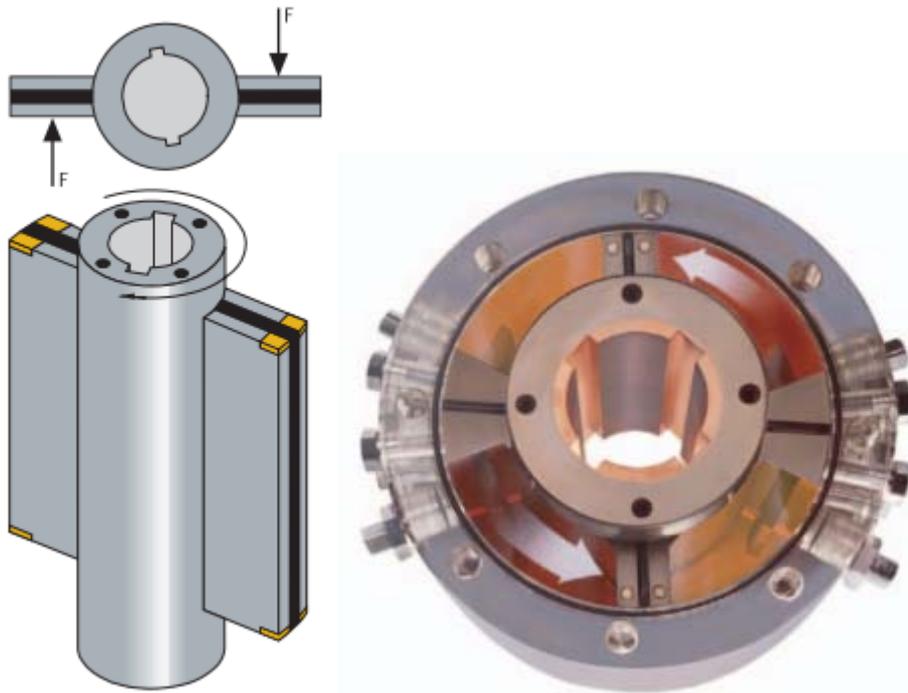


Figura 2.14 Actuador de Veleta Rotatoria doble [6]

#### 2.4.6 Dimensionamiento de un Actuador Rotatorio Hidráulico

- Básicamente son los mismos pasos a seguir que para el actuador neumático.

- Considerar que la presión hidráulica es mucho más alta que la presión de aire, por lo que los pistones o veletas asociados a un actuador hidráulico son mucho más pequeños.
- Considerar la adquisición de una central hidráulica si el cliente no posee actualmente presión hidráulica disponible.
- Establecer los controles que gobernarán al actuador: Posicionador, válvulas solenoides, interruptores de carrera, transmisores de posición, etc. [6]

#### **2.4.7 Actuador Rotatorio Eléctrico**

Para hacer funcionar el actuador eléctrico, se debe energizar los bornes correspondientes para que el motor actúe en la dirección apropiada.

Usualmente vienen con un controlador local o botonera que hace este proceso más sencillo. Sin embargo para la automatización remota del actuador, se debe considerar el diagrama de cableado que viene con el actuador. Las conexiones deben considerar fuerza, señales de límites de carrera y torque, señales análogas o digitales de posición y torque, etc.

El torque generado por el motor eléctrico es aumentado por un reductor interno o externo para dar salida al torque final en el tiempo seleccionado. Esta es la razón por la que los actuadores eléctricos toman mas tiempo en recorrer la carrera que los neumáticos o hidráulicos. [6]

#### 2.4.8 Dimensionamiento de un Actuador Rotatorio Eléctrico

- Primero se debe determinar el torque que se necesita para generar el movimiento rotatorio. Este torque puede ser expresada en N-m, lb-in, lb-ft, etc. (Newton-metros, libras-pulgadas o libras-pié, etc.). El fabricante de la válvula debe suministrar este dato. Usualmente está publicado en su sitio web.
- O bien, se debe determinar la fuerza de tiro que deberá soportar el actuador, si la aplicación es multivuelta. Obtener el diámetro externo del tornillo.
- No olvidar considerar la presión de la línea, que muy posiblemente lucha en contra del actuador.
- Establecer el porcentaje de sobredimensionamiento. Usualmente y dependiendo del tamaño y diseño de la válvula, entre 10% y 50% de sobredimensionamiento.
- Segundo, debe establecerse la carrera angular del actuador (¿90°, 180°, multivuelta?).
- Tercero, si es multivuelta, determinar el número de vueltas necesarias para cubrir el total de la carrera de la válvula.
- Obtener la disponibilidad de energía en el punto de instalación. Voltaje, frecuencia, número de fases.

- Cuarto, con los torques ya determinados, y recurriendo a las tablas de torque de los diferentes modelos, se puede escoger un modelo adecuado para la aplicación. Es importante determinar el factor final de sobredimensionamiento que se calcula dividiendo el torque del actuador por el torque original requerido por la válvula. Por ejemplo, si el torque original requerido de una válvula es de 3600 lb-in y se utiliza un porcentaje de 30%, es decir multiplicamos por 1,30 encontramos que se requiere un actuador de 4680 lb-in; que entrega 3547 lb-in que no es suficiente; el siguiente tamaño entrega 6028 lb-in que es mas que suficiente. Sin embargo, el factor ya no es 1,30, si no que 1,67. Es importante tenerlo en cuenta para no perder de vista cuanto torque realmente estamos entregando a la válvula, sobre todo cuando el cliente o el ingeniero suministran el torque máximo admisible para el vástago de la válvula.
  
- Verificar el torque máximo admisible para el vástago de la válvula.
  
- Al escoger el actuador con su motor, tomar los datos de consumo y factor de potencia. Los actuadores eléctricos tienen tiempos de funcionamiento más largos que los actuadores neumáticos, por lo que es un dato a considerar. Dependiendo del tamaño de la válvula, estos tiempos fluctúan normalmente entre 20 segundos hasta 90 segundos o más.
  
- Establecer los controles que gobernarán al actuador: Posicionador, válvulas solenoides, interruptores de carrera, transmisores de posición, etc. [6]

### 2.4.9 Actuadores Rotatorios con Posición de Falla

Hasta ahora se ha hablado de actuadores que se denominan de “doble efecto” o de posición de falla “última posición”. A veces es conveniente que la válvula vuelva por sí sola a una cierta posición si es que la energía falla. A estos actuadores se les denomina de “simple efecto” o “Falla Cierre” o “Falla Abre”, FC o FA respectivamente (FC y FO en inglés), o bien de “vuelta por resorte”.

Efectivamente, un resorte acumula energía para liberarla en la presencia de alguna falla, o cuando se libere el actuador para que vuelva a su posición de falla. Esta es la solución más robusta desde el punto de vista industrial. Hay otras alternativas para acumular energía para un actuador, pero el resorte es lo más confiable. [6]

Algo para tomar en cuenta es que los actuadores de vuelta por resorte son entre 2 y 3 veces más grandes que los de doble efecto, porque se necesita el torque de la válvula para moverlo en un sentido, y, el torque de la válvula + el torque del resorte para moverlo en el sentido opuesto. Esto por sí solo hace que el costo del actuador de simple efecto sea entre 2 y hasta 5 veces más caro que uno de doble efecto. Aparte del problema económico, está el problema del espacio. Para ciertos tipos de válvulas el actuador de simple efecto se hace realmente enorme. Otra cosa a considerar es que la mayoría de los actuadores eléctricos no poseen vuelta por resorte, y los que lo poseen son de tamaño limitado. Mi recomendación es no especificar actuadores de simple efecto a diestra y siniestra, a menos que realmente se necesite una posición de falla.

Para dimensionar los actuadores de simple efecto, hay que tomar en cuenta primero el torque que puede generar el resorte, y luego fijarse en el torque que genera la presión de aire o fluido.

## **CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE ACTUADORES**

A continuación se presenta el dimensionamiento de once actuadores Tipo Gas-Hidráulico pertenecientes a las estaciones de válvulas automáticas involucradas en el proyecto de tesis, que forman parte del Sub Sistema Guacara – Morón, las cuales son EVA Guacara (N65), EVA Universidad (N66), EVA El Café (N67), EVA La Corona (N68), Morón (N70).

### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE VÁLVULAS AUTOMÁTICAS**

La información que se muestra a continuación fue tomada de las visitas realizadas en cada una de las estaciones involucradas en el proyecto de tesis.

#### **3.1.1 EVA Guacara N65**

La EVA Guacara N65, está ubicada en el estado Carabobo, en el sector de Guacara, la misma se interconecta con la EVA N64, a través de los gasoductos GSDTO Ø20”, LAZO Ø20” y NURGAS Ø30” y la N66 aguas abajo. Esta conformada por trampas de envíos y recibos, cuenta con un sistema de medición, además de una línea de desvío (*by pass*), para las operaciones de mantenimiento y contingencia. Aparte suministra gas a la empresa Cavegas (ver figura 3.1).

Las condiciones de proceso de la EVA Guacara N65 son:

Tabla 3.1 Condiciones de Proceso EVA Guacara N65

Presión mínima (Psig)	600
Presión de operación (Psig)	750
Presión máxima (Psig)	1000
Temperatura (°F)	81

A continuación se muestran las características de las válvulas de control que fueron tomadas en campo para realizar el reemplazo:

Tabla 3.2 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA Guacara N65

ESTACIÓN	QTY	TAG	SIZE - CLASS	FABRICANTE	TIPO
N-65	1	AUV – 6525	12-600 (12x10)	Cameron	Bola
	1	AUV - 6514	10-600	Rockwell	Bola
	1	AUV – 6501	30-600	Cameron	Tapón
	1	AUV - 6520	30-600	Cafivi	Bola

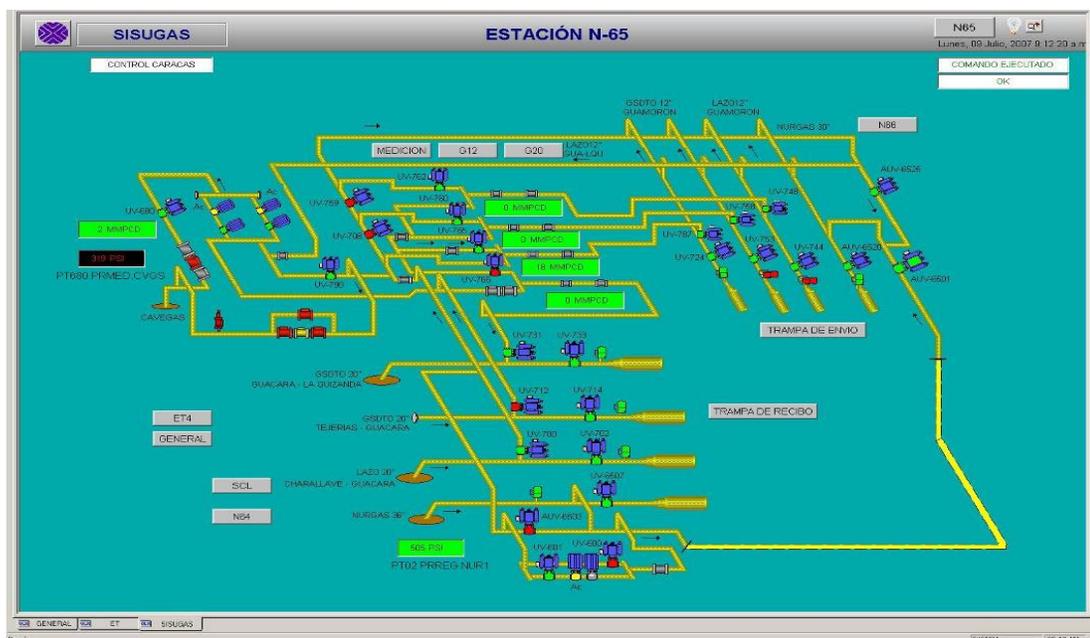


Figura 3.1 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA Guacara N65. [7]

### 3.1.2 EVA Universidad N66

La EVA Universidad N66 esta ubicada en el estado Carabobo, en el sector Naguanagua, la misma se interconecta con la EVA N65, a través de los gasoductos GSDTO Ø20", LAZO Ø20" y NURGAS Ø30" y la N67 aguas abajo. Esta conformada por un sistema de interconexión para las operaciones de mantenimiento y contingencia (ver figura 3.3).



Figura 3.2 EVA Guacara N65, Válvula AUV-6501.

Las condiciones de proceso de la EVA Universidad N66 son:

Tabla 3.3 Condiciones de Proceso EVA Universidad N66

Presión mínima (Psig)	600
Presión de operación (Psig)	750
Presión máxima (Psig)	1000
Temperatura (°F)	81

A continuación se muestran las características de las válvulas de control que fueron tomadas en campo para realizar el reemplazo:

Tabla 3.4 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA Universidad N66

ESTACIÓN	QTY	TAG	SIZE - CLASS	FABRICANTE	TIPO
N-66	1	AUV – 6601	30-600	Cameron	Bola
	1	AUV – 6602	12-600	Cafivi	Tapón
	1	AUV – 6603	12-600	Cafivi	Tapón

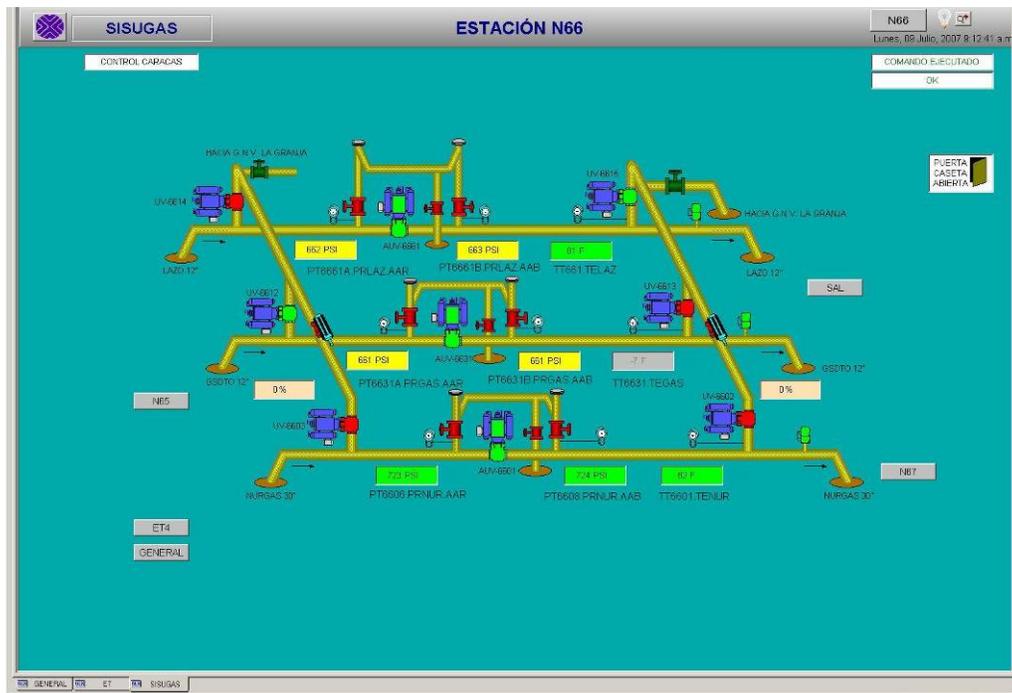


Figura 3.3 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA Universidad N66. [7]



Figura 3.4 EVA Universidad N66, Válvula AUV-6601.

### 3.1.3 EVA El Café N67

La EVA Café N67 esta ubicada en el estado Carabobo, en el sector Naguanagua, la misma se interconecta con la EVA N66, a través del gasoducto NURGAS Ø30" y la N68 aguas abajo. Su función es de seccionar el gasoducto para las operaciones de mantenimiento y contingencia (ver figura 3.5).

Las condiciones de proceso de la EVA El Café N67 son:

Tabla 3.5 Condiciones de Proceso EVA El Café N67

Presión mínima (Psig)	600
Presión de operación (Psig)	780
Presión máxima (Psig)	1000
Temperatura (°F)	81

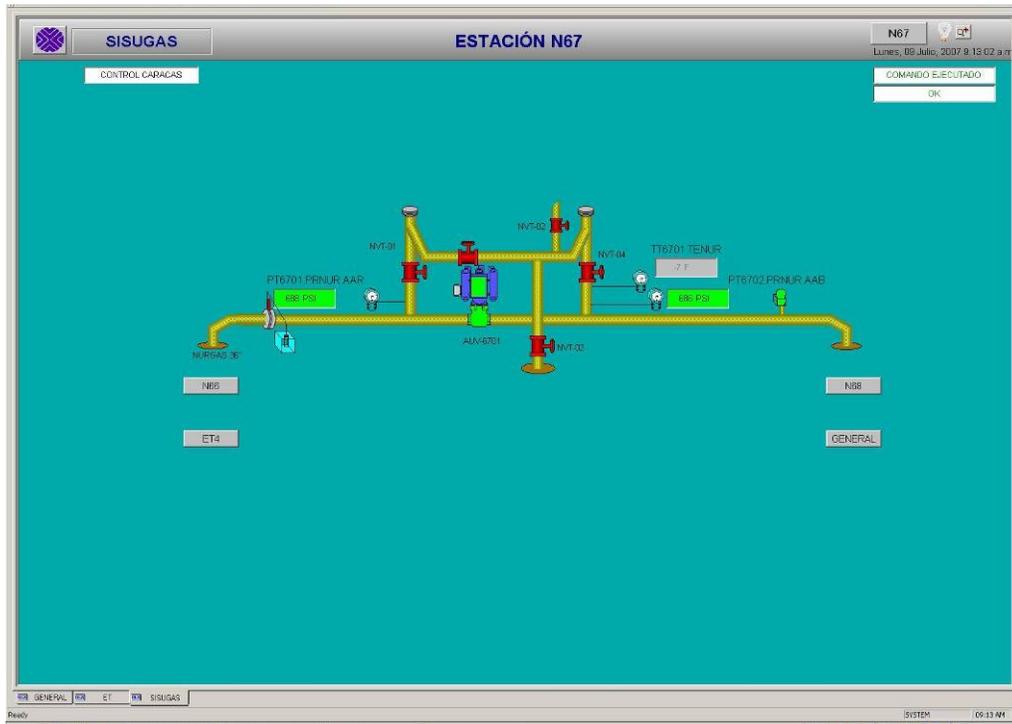


Figura 3.5 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA El Café N67. [7]

A continuación se muestran las características de las válvulas de control que fueron tomadas en campo para realizar el reemplazo:

Tabla 3.6 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA El Café N67.

ESTACIÓN	QTY	TAG	SIZE - CLASS	FABRICANTE	TIPO
N-67	1	AUV – 6701	30-600	Cameron	Bola



Figura 3.6 EVA El Café N67, Válvula AUV-6701.

#### 3.1.4 EVA La Corona N68

La EVA La Corona N68 esta ubicada en el estado Carabobo, en las cercanías de Naguanagua, la misma se interconecta con la EVA N67, a través del gasoducto NURGAS Ø30" y la N70 aguas abajo. Su función es, seccionar el gasoducto para las operaciones de mantenimiento y contingencia (ver figura 3.7).

Las condiciones de proceso de la EVA La Corona N68 son:

Tabla 3.7 Condiciones de Proceso EVA La Corona N68

Presión mínima (Psig)	600
Presión de operación (Psig)	780
Presión máxima (Psig)	1000
Temperatura (°F)	81

A continuación se muestran las características de las válvulas de control que fueron tomadas en campo para realizar el reemplazo:

Tabla 3.8 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA La Corona N68.

ESTACIÓN	QTY	TAG	SIZE - CLASS	FABRICANTE	TIPO
N-68	1	AUV – 6801	30-600	Cameron	Bola

### 3.1.5 EVA Morón N70

La EVA Morón N68 esta ubicada en el estado Carabobo, en Puerto Cabello, la misma se interconecta con la EVA N68, a través del gasoducto GSDTO Ø16", LAZO Ø16" y NURGAS Ø30" y Planta Morón NE39 aguas abajo.

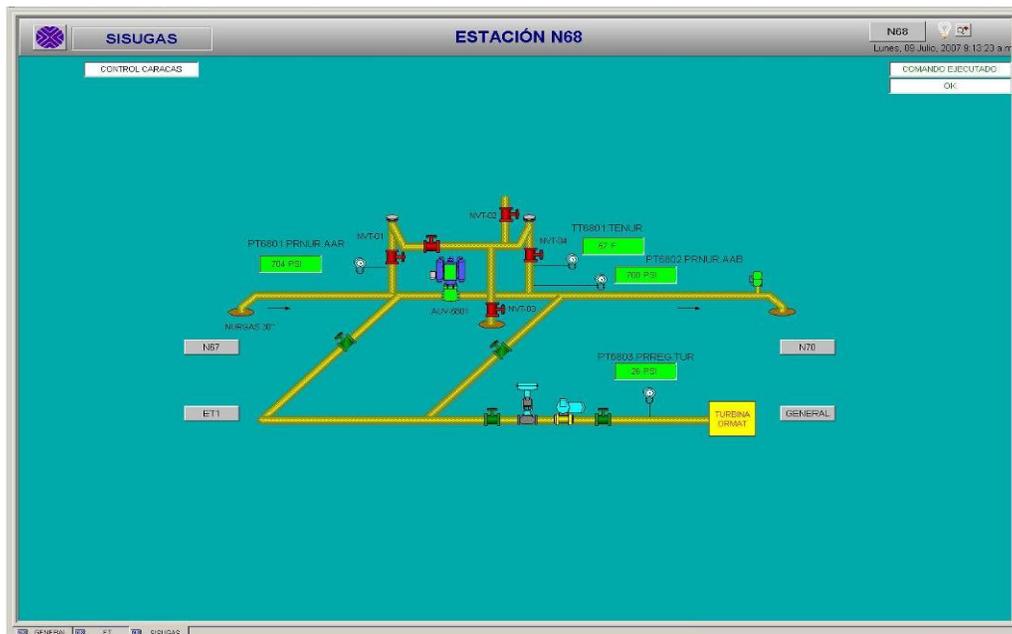


Figura 3.7 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA La Corona N68. [7]



Figura 3.8 EVA La Corona N68, Válvula AUV-6801

Además de interconectarse con la EMR Pequiven. Esta conformada por trampas de envíos y recibos, cuenta con un sistema de reducción de presión y medición de gas. Aparte suministra gas a la empresa Cavegas (ver figura 3.9).

Las condiciones de proceso de la EVA Morón N70 son:

Tabla 3.9 Condiciones de Proceso EVA Morón N70

Presión mínima (Psig)	600
Presión de operación (Psig)	780
Presión máxima (Psig)	1000
Temperatura (°F)	81

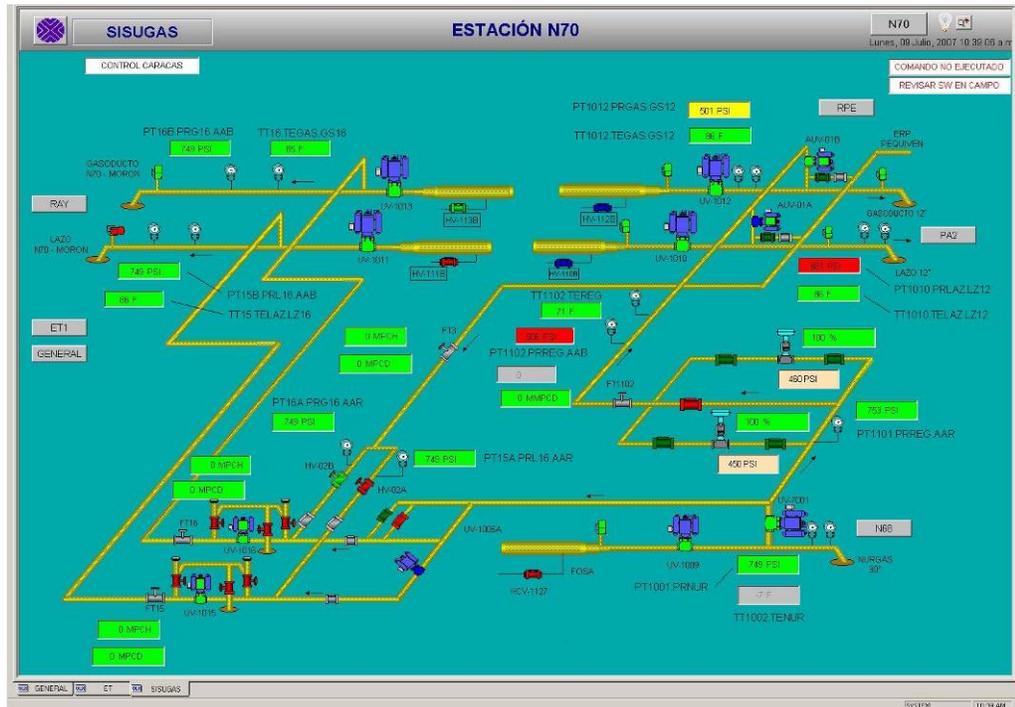


Figura 3.9 Despliegue mostrado en pantalla del Despacho de Gas de PDVSA Gas de la EVA Morón N70. [7]

A continuación se muestran las características de las válvulas de control que fueron tomadas en campo para realizar el reemplazo:

Tabla 3.10 Características de las Válvulas de Control a Reemplazar en la EVA Morón N70.

ESTACIÓN	QTY	TAG	SIZE - CLASS	FABRICANTE	TIPO
N-70	1	AUV – 1009	30-600	Cafivi	Bola
	1	AUV-1005A	16-600	Cafivi	Bola

En el anexo 1, se pueden ver los diagramas actualizados de cada una de las EVA's.



Figura 3.10 EVA Morón N70, Válvula AUV-1009.

### 3.2 CRITERIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ACTUADORES

Estos criterios están basados en los estándares del fabricante y en la buena práctica de diseño. Las mismas se listan a continuación:

**1er Criterio:** El torque del actuador a presión mínima ( $T_{apmin}$ ), debe ser mayor o igual a 1.5 veces el torque de la válvula a presión mínima ( $T_{vpmin}$ ); ( $f_s=1.5$ , Para válvulas nuevas;  $f_s=2$  para válvulas usadas).

**2do Criterio:** El torque del actuador a la presión máxima ( $T_{apmax}$ ), debe ser menor al torque máximo permitido por el vástago de la válvula ( $T_{max}$  Vástago).

**3er Criterio:** El diámetro interno del cilindro del actuador (Diám Actuador), debe ser mayor ó igual que el diámetro del vástago de la válvula (Diám Vástago).

**4to Criterio:** La presión máxima de trabajo del actuador (Pmax trabajo actuador), debe ser mayor a la presión máxima de trabajo del gasoducto (Pmax gasoducto).

### 3.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ACTUADORES

El cálculo de los actuadores, se hizo basado en las siguientes consideraciones:

- Los datos de torque de los actuadores están referidos al Fabricante de la marca Shafer modelo Rotary Vane, cuyos valores se encuentran en el catálogo “Actuator Specifications and Dimensional Data”, RV-ASDD-D-20699 (RV-Series Rotary Vane Valve Actuators) (ver anexo 3), los cuales se resumen en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Especificaciones y dimensiones de Actuadores marca Shafer

MODELO Diám x Alto	TORQUE in-lbs@ 1000 psig	Máx. Presión De Operac. (psig)	Diám Cilindro (in)	Máx. Presión de Prueba (psig)
6 ½ X 3 ½	20.000,00	1440	2 5/8	3000
6 ½ X 8	43.300,00	1440	2 5/8	3000
9 X 7	72.000,00	1440	3 3/4	3000
9 X 12	128.500,00	1440	3 3/4	3000
12 ½ X 8	186.900,00	1440	3 3/4	3000
12 ½ X 12	288.000,00	1440	4 1/2	2880
14 ½ X 16	522.100,00	1440	5 1/8	2440
16 ½ X 16	688.500,00	1440	6	2160
20 X 16	1.148.400,00	1440	6	2250
25 X 16	1.853.100,00	1440	6 1/2	2160
26 X 22	2.691.500,00	1440	7 3/8	2160
26 X 36	4.338.000,00	1000	7 3/8	2000
33 X 32	5.868.000,00	1000	9 1/2	1500

El número de identificación de todas las válvulas actuadas donde se instalarán los nuevos actuadores en distintas estaciones, así como los datos operacionales (ver anexo 2), son listados a continuación en la tabla 3.12.

Tabla 3.12 Identificación de las válvulas donde se instalaran los nuevos actuadores  
Shafer

EVA	Tag. Válvula	ØVal	ANSI Class	tipo	Fabrica	Pmin (psi)	Poper (psi)	Pmax (psi)
N-65	AUV – 6501	30"	600#	Bola	Cameron	600	750	1000
	AUV - 6520	30"	600#	Bola	Cafivi	600	750	1000
	AUV - 6514	10"	600#	Tapón	Rockwell	600	700	1000
	AUV – 6525	12"	600#	Bola	Cameron	600	750	1000
N-66	AUV – 6601	30"	600#	Bola	Cameron	600	780	1000
	AUV – 6602	12"	600#	Tapón	Cafivi	600	780	1000
	AUV – 6603	12"	600#	Tapón	Cafivi	600	780	1000
N-67	AUV – 6701	30"	600#	Bola	Cameron	600	780	1000
N-68	AUV – 6801	30"	600#	Bola	Cameron	600	780	1000
N-70	AUV – 1009	30"	600#	Bola	Cafivi	600	650	1000
	AUV – 1005A	16"	600#	Bola	Cafivi	700	790	1000

### 3.3.1 Dimensionamiento del Actuador AUV-6501, de la EVA N-65

Para el dimensionamiento del actuador, que se va a instalar en la válvula existente AUV-6501, tenemos que verificar todas las condiciones descritas en la sección 3.2. Evaluamos la válvula:

- Torque máximo permisible por el vástago es 837800 lb-pulg, (ver anexo 2.2).

- Torque mínimo requerido a presión mínima ( $P_{min}=600\text{psi}$ ) es:

$$T_{vpmin} = 138 \times P + 57500 \text{ lb-pulg, (ver anexo 2.2),}$$

$$T_{vpmin} = 138 \times 600 + 57500 \text{ lb-pulg,}$$

$$T_{vpmin} = 140300 \text{ lb-pulg.}$$

- Diámetro del vástago de la válvula es 7.5 pulg. (ver anexo 2.5).
- Seleccionamos el Actuador 14 ½ x 16, con las siguientes características: 522100 lb-pulg @ 1000 psi; Diám Actuador = 5.125 pulg (ver anexo 3).
- $Tapmin = 522100 \text{ lb-pulg} \times 600 \text{ psi} / 1000\text{psi},$   
 $Tapmin = 313260 \text{ lb-pulg.}$
- $Tapmax = 522100 \text{ lb-pulg.}$

**1er Criterio**,  $Tapmin \geq 2 T_{vpmin};$

$$F_s = Tapmin / T_{vpmin} = 313260 \text{ lb-pulg} / 140300 \text{ lb-pulg} = 2.23,$$

Se cumple el 1er criterio.

**2do Criterio**,  $Tapmax < T_{max} \text{ Vástago};$

$$522100 \text{ lb-pulg} < 837800 \text{ lb-pulg,}$$

Se cumple el 2do criterio.

**3er Criterio**, Diám vástago < Diám Actuador;  
7.5 pulg > 5.125 pulg.

No se cumple el 3er criterio, sin embargo para que se cumpla esta condición se debe solicitar al proveedor, fabricar un carrito y un acople de montaje para adaptar el actuador a la válvula.

**4to Criterio**, Pmax trabajo actuador > Pmax gasoducto;  
1440 psi > 1000 psi,  
Se cumple el 4to criterio.

### 3.3.2 Dimensionamiento del Actuador AUV-6520, de la EVA N-65

Para dimensionar el actuador de la válvula AUV-6520, evaluamos:

- Torque máximo permisible por el vástago es 87898 lb-pie x 12 pulg / pie = 1054776 lb-pulg, (ver anexo 2.7).
- Torque mínimo requerido a presión mínima (Pmin = 600 psi) es:

$$T_{vpmin} = (14.7 \times P + 9600) \times 12 \text{ lb-pulg, (ver anexo 2.1),}$$

$$T_{vpmin} = (14.7 \times 600 + 9600) \times 12 \text{ lb-pulg,}$$

$$T_{vpmin} = 221040 \text{ lb-pulg.}$$

- Diámetro del vástago de la válvula es 150 mm / 25.4 = 5.9 pulg, (ver anexo 2.1).

- Seleccionamos el Actuador 16 ½ x 16, con las siguientes características: 688500 lb-pulg @ 1000 psi; Diám Actuador = 6 pulg, (ver anexo 3).
- $Tapmin = 688500 \text{ lb-pulg} \times 600 \text{ psi} / 1000\text{psi}$ ,  
 $Tapmin = 413100 \text{ lb-pulg}$ .
- $Tapmax = 688500 \text{ lb-pulg}$ .

**1er Criterio**,  $Tapmin \geq 2 Tvpmin$ ;

$$Fs = Tapmin / Tvpmin = 413100 \text{ lb-pulg} / 2210140 \text{ lb-pulg} = 1.87,$$

Se cumple el 1er criterio.

**2do Criterio**,  $Tapmax < Tmax \text{ Vástago}$ ;

$$688500 \text{ lb-pulg} < 1054776 \text{ lb-pulg},$$

Se cumple el 2do criterio.

**3er Criterio**,  $Diám \text{ vástago} < Diám \text{ Actuador}$ ;

$$5.9 \text{ pulg} > 6 \text{ pulg},$$

Se cumple el 3er criterio.

**4to Criterio**,  $Pmax \text{ trabajo actuador} > Pmax \text{ gasoducto}$ ;

$$1440 \text{ psi} > 1000 \text{ psi},$$

Se cumple el 4to criterio.

### 3.3.3 Dimensionamiento del Actuador AUV-6514, de la EVA N-65

Para dimensionar el actuador de la válvula AUV-6514, evaluamos:

- Torque máximo permisible por el vástago es 142100 lb-pulg. (ver anexo 2.6)

- Torque mínimo requerido a presión mínima ( $P_{min} = 600$  psi) es:

$$T_{vpmin} = 12.18 \times P + 7290 \text{ lb-pulg, (ver anexo 2.6),}$$

$$T_{vpmin} = 12.18 \times 600 + 7290 \text{ lb-pulg,}$$

$$T_{vpmin} = 14598 \text{ lb-pulg.}$$

- Diámetro del vástago de la válvula es 2.62 pulg, (ver anexo 2.6).
- Seleccionamos el Actuador 6 ½ x 8, con las siguientes características: 47300 lb-pulg @ 1000 psi; Diám Actuador = 2.625 pulg, (ver anexo 3),
- $Tapmin = 47300 \text{ lb-pulg} \times 600 \text{ psi} / 1000\text{psi},$   
 $Tapmin = 28380 \text{ lb-pulg.}$
- $Tapmax = 47300 \text{ lb-pulg.}$

**1er Criterio**,  $Tapmin \geq 2 T_{vpmin};$

$$F_s = Tapmin / T_{vpmin} = 28380 \text{ lb-pulg} / 14598 \text{ lb-pulg} = 1.94,$$

Se cumple el 1er criterio.

**2do Criterio**,  $Tapmax < T_{max}$  Vástago;

$$47300 \text{ lb-pulg} < 142100 \text{ lb-pulg,}$$

Se cumple el 2do criterio.

**3er Criterio**, Diám vástago < Diám Actuador;

$$2.62 \text{ pulg} > 2.625 \text{ pulg,}$$

Se cumple el 3er criterio.

**4to Criterio**,  $P_{\text{max}} \text{ trabajo actuador} > P_{\text{max}} \text{ gasoducto}$ ;

1440 psi > 1000 psi,

Se cumple el 4to criterio.

### 3.3.4 Dimensionamiento del Actuador AUV-6525, de la EVA N-65

Para dimensionar el actuador de la válvula AUV-6525, evaluamos:

- Torque máximo permisible por el vástago es 103750 lb-pulg, (ver anexo 2.3).

- Torque mínimo requerido a presión mínima ( $P_{\text{min}} = 600 \text{ psi}$ ) es:

$$T_{\text{vpmin}} = 12.3 \times P + 13300 \text{ lb-pulg,}$$

$$T_{\text{vpmin}} = 12.3 \times 600 + 13300 \text{ lb-pulg,}$$

$$T_{\text{vpmin}} = 20680 \text{ lb-pulg.}$$

- Diámetro del vástago de la válvula es 3 pulg, (ver anexo 2.3).
- Seleccionamos el Actuador 9 x 7, con las siguientes características:  
72000 lb-pulg @ 1000 psi; Diám Actuador = 3.75 pulg, (ver anexo 3).
- $T_{\text{apmin}} = 72000 \text{ lb-pulg} \times 600 \text{ psi} / 1000\text{psi}$ ,  
 $T_{\text{apmin}} = 43200 \text{ lb-pulg.}$
- $T_{\text{apmax}} = 72000 \text{ lb-pulg.}$

**1er Criterio**,  $T_{apmin} \geq 2 T_{vpmin}$ ;

$F_s = T_{apmin} / T_{vpmin} = 432000 \text{ lb-pulg} / 20680 \text{ lb-pulg} = 2.088$ ,

Se cumple el 1er criterio.

**2do Criterio**,  $T_{apmax} < T_{max} \text{ Vástago}$ ;

$72000 \text{ lb-pulg} < 103750 \text{ lb-pulg}$ ,

Se cumple el 2do criterio.

**3er Criterio**,  $\text{Diám vástago} < \text{Diám Actuador}$ ;

$3 \text{ pulg} > 3.75 \text{ pulg}$ ,

Se cumple el 3er criterio.

**4to Criterio**,  $P_{max} \text{ trabajo actuador} > P_{max} \text{ gasoducto}$ ;

$1440 \text{ psi} > 1000 \text{ psi}$ ,

Se cumple el 4to criterio.

### **3.3.5 Dimensionamiento del Actuador AUV-6601, AUV-6701 Y AUV-6801 de las EVA N-66, N-67 Y N-68, Respectivamente.**

Para dimensionar el actuador de la válvula AUV-6601, AUV-6701, AUV-6801, aplica el mismo cálculo que la válvula AUV-6501.

### **3.3.6 Dimensionamiento del Actuador AUV-6602 y AUV-6603, Respectivamente.**

Para dimensionar los actuadores de las válvulas AUV-6602 y AUV-6603, evaluamos:

- Torque máximo permisible por el vástago es 11000 lb-pie x 12 pulg / pie = 132000 lb-pulg, (ver anexo 2.1).

- Torque mínimo requerido a presión mínima ( $P_{min} = 600$  psi) es:

$$T_{vpmin} = (1.38 \times P + 840) \times 12 \text{ lb-pulg, (ver anexo 2.1),}$$

$$T_{vpmin} = (1.38 \times 600 + 840) \times 12 \text{ lb-pulg,}$$

$$T_{vpmin} = 20016 \text{ lb-pulg.}$$

- Diámetro del vástago de la válvula es 75 mm / 25.4 = 2.95 pulg, (ver anexo 2.1).
- Seleccionamos el Actuador 9 x 7, con las siguientes características: 72000 lb-pulg @ 1000 psi; Diám Actuador = 3.75 pulg, (ver anexo 3).
- $T_{apmin} = 72000 \text{ lb-pulg} \times 600 \text{ psi} / 1000\text{psi},$   
 $T_{apmin} = 43200 \text{ lb-pulg.}$
- $T_{apmax} = 72000 \text{ lb-pulg.}$

**1er Criterio**,  $T_{apmin} \geq 2 T_{vpmin};$

$$F_s = T_{apmin} / T_{vpmin} = 43200 \text{ lb-pulg} / 20016 \text{ lb-pulg} = 2.15,$$

Se cumple el 1er criterio.

**2do Criterio**,  $T_{apmax} < T_{max} \text{ Vástago};$

$$72000 \text{ lb-pulg} < 132000 \text{ lb-pulg,}$$

Se cumple el 2do criterio.

**3er Criterio**, Diám vástago < Diám Actuador;

3 pulg > 3.75 pulg,

Se cumple el 3er criterio.

**4to Criterio**, Pmax trabajo actuador > Pmax gasoducto;

1440 psi > 1000 psi,

Se cumple el 4to criterio.

### 3.3.7 Dimensionamiento del Actuador AUV-1009 de la EVA N-70

Para dimensionar el actuador de la válvula AUV-1009, aplica el mismo cálculo que la válvula AUV-6520.

### 3.3.8 Dimensionamiento del Actuador AUV-1005A, de la EVA N-70

Para dimensionar el actuador de la válvula AUV-1005A, evaluamos:

- Torque máximo permisible por el vástago es 11000 lb-pie x 12 pulg / pie = 132000 lb-pulg, (ver anexo 2.7).
- Torque mínimo requerido a presión mínima (Pmin = 700 psi) es:

$$T_{vpmin} = (3.12 \times P + 1900) \times 12 \text{ lb-pulg, (ver anexo 2.1),}$$

$$T_{vpmin} = (3.12 \times 700 + 1900) \times 12 \text{ lb-pulg,}$$

$$T_{vpmin} = 49008 \text{ lb-pulg.}$$

- Diámetro del vástago de la válvula es 75 mm / 25.4 = 2.95 pulg.
- Seleccionamos el Actuador 9 x 12, con las siguientes características:

128500 lb-pulg @ 1000 psi; Diám Actuador = 3.75 pulg, (ver anexo 3).

- Tapmin = 128500 lb-pulg x 700 psi / 1000psi,  
Tapmin = 89950 lb-pulg.
- Tapmax = 128500 lb-pulg.

**1er Criterio**, Tapmin  $\geq$  2 Tvpmin;

$F_s = \text{Tapmin} / \text{Tvpmin} = 89950 \text{ lb-pulg} / 49008 \text{ lb-pulg} = 1.83$ ,

Se cumple el 1er criterio.

**2do Criterio**, Tapmax < Tmax Vástago;

128500 lb-pulg < 132000 lb-pulg,

Se cumple el 2do criterio.

**3er Criterio**, Diám vástago < Diám Actuador;

2.95 pulg > 3.75 pulg,

Se cumple el 3er criterio.

**4to Criterio**, Pmax trabajo actuador > Pmax gasoducto;

1440 psi > 1000 psi,

Se cumple el 4to criterio.

### 3.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como se puede observar en la tabla 3.4, todos los actuadores seleccionados cumplen con los criterios de selección para el dimensionamiento de los mismos, sin embargo en el 3er criterio de las válvulas AUV-6501, AUV-6601, AUV-6701 y AUV-6801 de las EVA's N-65,

N-66, N-67 y N-68 respectivamente, son las excepciones ya que el diámetro del vástago de la válvula es mayor al diámetro interno del actuador. A pesar de eso, se realizó el dimensionamiento con un actuador superior y resultó que el torque del actuador era mayor al torque del vástago de la válvula, por lo que rompería el vástago a una presión máxima. A pesar de lo antes dicho, el actuador seleccionado 14 ½ x 16 es aceptado, ya se le pide al proveedor que elabore una pieza de acople para el actuador y la válvula. A continuación se presenta una tabla de resumen de todos los resultados.

Tabla 3.14 Características de las válvulas utilizadas en el cálculo.

EVA	Tag. Válvula	Diámetro del vástago (pulg)	Torque máximo permitido por el vástago (lbs-pulg)	Expresión del Torque de la Válvula (lbs-pulg)	Torque mínimo requerido de la válvula a Pmin (lbs-pulg)
N65	AUV – 6501	7.5	837800	$T_v=138xP+57500$	140300
	AUV - 6520	5.9	1054776	$T_v=(14.7xP+9600)x12$	221040
	AUV - 6514	2.62	142100	$T_v=12.8xP+7290$	14598
	AUV – 6525	3	103750	$T_v=12.3xP+13300$	20680
N66	AUV – 6601	7.5	837800	$T_v=138xP+57500$	140300
	AUV – 6602	3	132000	$T_v=(1.38xP+840)x12$	20016
	AUV – 6603	3	132000	$T_v=(1.38xP+840)x12$	20016
N67	AUV – 6701	7.5	837800	$T_v=138xP+57500$	140300
N68	AUV – 6801	7.5	837800	$T_v=138xP+57500$	140300
N70	AUV – 1009	5.9	1054776	$T_v=(14.7xP+9600)x12$	221040
	AUV – 1005A	2.95	132000	$T_v=(3.12xP+1900)x12$	49008

Tabla 3.15 Resultados obtenidos en el cálculo de los actuadores

EVA	Tag. Válvula	Actuador (Shafer)	Torque Actuador a 1000 psi (lb-pulg)	Diám Actuador (pulg)	Diámetro del vástago (pulg)	Torque actuador a presión mínima, Tapmin (lb-pulg)	Torque actuador a presión máxima, Tapmax (lb-pulg)	Criterios			
								1er	2do	3er	4to
N65	AUV – 6501	14 ½ x 16	522100	5.125	7.5	313260	522100	Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple
	AUV - 6520	16 ½ x 16	688500	6	5.9	413100	688500	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
	AUV - 6514	6 ½ x 8	47300	2.625	2.62	28380	47300	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
	AUV – 6525	9 x 7	72000	3.75	3	43200	72000	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
N66	AUV – 6601	14 ½ x 16	522100	5.125	7.5	313260	522100	Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple
	AUV – 6602	9 x 7	72000	3.75	3	43200	72000	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
	AUV – 6603	9 x 7	72000	3.75	3	43200	72000	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
N67	AUV – 6701	14 ½ x 16	522100	5.125	7.5	313260	522100	Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple
N68	AUV – 6801	14 ½ x 16	522100	5.125	7.5	313260	522100	Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple
N70	AUV – 1009	16 ½ x 16	688500	6	5.9	413100	688500	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
	AUV – 1005A	9 x 12	128500	3.75	2.95	89950	128500	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

### 3.5 Documentos y Planos a Desarrollar

Los documentos y planos a desarrollarse en la Ingeniería de Detalle para el Reemplazo de los Actuadores Tipo Yugo Escocés por los Actuadores Tipos Gas-Hidráulicos se listan a continuación (ver anexo 4):

Tabla 3.16 Documentos y planos a desarrollar

Ítem	Documentos y Planos
1	Especificaciones de Construcción
2	Alcance Medición y Forma de Pago
3	Cómputos Métricos
4	Lista de Materiales
5	Hoja de Datos
6	Detalle de Instalación Eléctrica de Actuador
7	Detalle de Instalación Actuador con Sistema Line Break
8	Detalle de Instalación Actuador con Sistema de Apertura y Cierre
9	Diagrama Funcional

## **CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El presente capítulo describe las conclusiones y recomendaciones obtenidas por el desarrollo de la tesis “Reemplazo de los Actuadores Tipo Yugo Escocés por Actuadores Tipo Gas-Hidráulicos”, la cual se muestran a continuación:

### **4.1 CONCLUSIONES**

1. A través de las visitas realizadas, a cada una de las estaciones, se corroboró, que las condiciones de operación, ubicación, características de las válvulas, entre otros, de las EVA's Guacara N65, Universidad N66, El Café N67, La Corona N68 y Morón N70', suministradas por la gerencia de operaciones son efectivas para el desarrollo de la Ingeniería de Detalle.
2. Utilizando los criterios de dimensionamiento de los actuadores tipo Gas-Hidráulicos del proveedor, se logró dimensionar cada uno de los actuadores a instalar.
3. Los actuadores tipo Gas-Hidráulicos, que no cumplieron con el 3er criterio que dice: El diámetro interno del actuador debe ser mayor al diámetro del vástago de la válvula. Se considera elaborar un carrete de acople por parte del proveedor, para la instalación de los actuadores, la cual, da cumplimiento a los criterios de selección.

4. Con los actuadores de Gas-Hidráulico tipo Vena Rotativa se ofrece la ventaja de tomar el gas directamente de la línea de alta presión (Gasoducto) y se utilizan para empujar el aceite hacia las cámaras internas y por lo tanto accionar el actuador (abrir / cerrar). Este diseño asegura que no se utiliza el gas a alta presión directamente para accionar el actuador.
5. Apoyado en las normas PDVSA, ISA, API, FONDONORMA, ASME y NEMA, y en ingeniería de detalle de otros proyectos, se logró elaborar la Ingeniería de Detalle para el Reemplazo de los Actuadores Yugo Escocés por Actuadores Gas-Hidráulico en Estaciones de Válvulas Automáticas de PDVSA Gas en la Región Centro Occidente.
6. Se elaboró la Ingeniería de detalle, la cual sirve como guía para el diseño de futuras instalaciones.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo y correctiva para cada una de la estaciones para garantizar la continuidad operativa de las mismas.
2. Tomar en cuenta todos los criterios y procedimientos de selección de los actuadores para futuras instalaciones.
3. Realizar el dimensionamiento de los actuadores utilizando otro proveedor para comparar su comportamiento con los diferentes tipos de válvulas.

4. Realizar la instalación de los actuadores de acuerdo a lo indicado a las especificaciones de construcción y a las normas PDVSA, ISA, API, FONDONORMA, ASME y NEMA.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1 Análisis teórico experimental sobre sincronización de actuadores óleo hidráulicos, Rivera M., Ricardo J., Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- 2 Plan de Gestión Ambiental y Definición de Criterios para la Priorización de Eventos Geotécnicos en la Operación y Mantenimiento de Sistemas de Transporte de Gas Natural, Domínguez V., Lanzziano J., Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- 3 Actualización Tecnológicas de Sistemas de Control y Parada de Plantas de Compresión Tía Juana II y III, Covarrubias M., Universidad Simón Bolívar, Venezuela.
- 4 Sistema de Transporte de Gas Anaco-Barquisimeto, Aspectos Técnicos Generales, Volumen I, (2001).
- 5 Creus A., (2005), "Instrumentación Industrial", Editorial Marcombo, Edición 7.
- 6 Eugenio V., "Actuadores" Soltex Chile S.A.
- 7 <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>
- 8 Diagramas las estaciones, Despacho de Gas de PDVSA Gas.

- 9 Manual de Ingeniería de PDVSA, Vol. 09-I y II. Instrumentación.
- 10 Smith C., Corripio., "Control Automático de Procesos", Editorial Adisson Wesley, (1996).
- 11 Creus, A., "Instrumentación Industrial", Editorial Alfa Omega, S. A. México. (1989).
- 12 "Shafer, valve operating systems", Catálogo del fabricante, Emerson Process Management.
- 13 Hernández R. Fernández C., Batista P, "Metodología de la Investigación", Mc Graw Hill, México 1991.
- 14 Kuo, B., "Digital Control Systems" Editorial Holt, Rinehart and Winston, Inc. ISBN 0-03-057568-0, (1980).
- 15 Dorf, R., "Sistemas Automáticos de Control" 2da Edición, Editorial Fondo Educativo Interamericano, S. A., (1977).
- 16 PDVSA, Boletín N°4, Especificaciones Generales para la Construcción de Gasoductos.
- 17 PDVSA K-300, "Instrumentation Introduction".
- 18 PDVSA K-301, "Pressure Instrumentation".
- 19 PDVSA K-304, "Temperature Measurement Criteria".
- 20 PDVSA K-330, "Control Panels And Consoles".

- 21 PDVSA K-331, "Instrument Power Supplies".
- 22 PDVSA K-332, "Control Valves".
- 23 PDVSA K-333, "Valve Actuators".
- 24 PDVSA K-334, "Instrumentation Electrical Requirements".
- 25 PDVSA K-335, "Packaged Unit Instrumentation".
- 26 PDVSA K-336, "Safety Instrumented Systems".
- 27 PDVSA K-344, "Selection Criteria For Pressure Control Regulators".
- 28 PDVSA, Manual de Ingeniería de Riesgo (MIR).
- 29 ISA S5.1, "Instrumentation Symbols and Identification".
- 30 ISA S51.1, "Process Instrumentation Terminology".
- 31 ISA S20, "Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments".
- 32 ISA S75.01., "Flow Equations for Sizing Control Valves".
- 33 ISA S75.11, "Inherent Flow Characteristic and Rangeability of Control Valves".
- 34 FONDONORMA 200-2004, "Código Eléctrico Nacional".

- 35 API, American Petroleum Institute.
- 36 API /RP-551, "Process Measurement Instrumentation".
- 37 API RP 520, "Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries".
- 38 API RP 521, "Guide for Pressure-Relieving and Depressurizing Systems".
- 39 API RP 526, "Flanged Steel Pressure Relief Valves".
- 40 API STD 598, "Valve Inspection and Testing".
- 41 ASME B1.20.1, "Pipe Threads, General Purpose (Inch)".
- 42 ASME B16.34, "Valves - Flanged, Threaded, and Welding End".
- 43 ASME B16.5, "Pipe Flanges and Flanged Fittings".
- 44 ASME B31.3, "Process Piping".
- 45 ASME B40.100, "Pressure Gauge and Gauge Attachments".
- 46 ASME Sección VIII, "Rules For Construction of Pressure Vessels".
- 47 NEMA ICS-1, "Industrial Control and System General Requirements.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	INGENIERÍA PARA EL REEMPLAZO DE ACTUADORES YUGO ESCOCÉS POR ACTUADORES GAS-HIDRÁULICOS, EN ESTACIONES DE VÁLVULAS AUTOMÁTICAS
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Pérez V., Carlos E.	CVLAC: 12.574.147 E MAIL: estiven_perez@cantv.net
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

**PALABRAS O FRASES CLAVES:**

Ingenieria \_\_\_\_\_  
 Reemplazo \_\_\_\_\_  
 Actuadores \_\_\_\_\_  
 Yugo \_\_\_\_\_  
 Escoces \_\_\_\_\_  
 Gas \_\_\_\_\_  
 Hidrahulicos \_\_\_\_\_  
 Válvulas \_\_\_\_\_  
 Automáticas \_\_\_\_\_

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y**

**ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Postgrado de Ingeniería Eléctrica

**RESUMEN (ABSTRACT):**

ESTE TRABAJO CONSISTE EN REALIZAR UNA INGENIERÍA DE DETALLE PARA REEMPLAZAR LOS ACTUADORES YUGO ESCOCÉS (MARCA LIMITORQUE) POR ACTUADORES GAS-HIDRÁULICOS (MARCA SHAFER) EN CINCO ESTACIONES DE VÁLVULAS AUTOMÁTICAS (EVA), DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE GAS METANO ANACO – BARQUISIMETO, EN LA REGIÓN CENTRO OCCIDENTE (RCO), DE PDVSA GAS. DONDE SE EVALÚAN LAS CONDICIONES ACTUALES DE LAS EVA'S, PARA DIMENSIONAR, ANALIZAR Y SELECCIONAR LOS ACTUADORES GAS-HIDRÁULICOS, DE ACUERDO A LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL PROVEEDOR, A LAS CONDICIONES DE NORMALES DE OPERACIÓN, Y A LOS CATÁLOGOS DEL PROVEEDOR. ELABORÁNDOSE LA INGENIERÍA DE DETALLE QUE ESPECIFICA LA CORRECTA INSTALACIÓN DE LOS ACTUADORES, SE LOGRA CUMPLIR CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS Y ADEMÁS SE CUMPLE CON LOS ESTÁNDARES NACIONALES E INTERNACIONALES DE DISEÑO.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y****ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>González Yordy</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU X</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>14.126.676</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>yordygonzalez@cantv.net</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>14.126.676</b>			
<b>Heraoui Margarita</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>9.457.103</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>heraouim@cantv.net</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>9.457.103</b>			
<b>Rodríguez Romel</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>12.031.666</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>rodriguezrx@cantv.net</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>12.031.666</b>			
	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>15</b>	<b>05</b>	<b>09</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y****ASCENSO:****ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS_REEMPLAZO_ACTUADORES.DOC	APPLICATION/MSWORD
ANEXO_1_DIAGRAMAS_ESTACIONES_DE_VALVULAS.PDF	APPLICATION/ACROBAT
ANEXO_4.10_DIAGRAMA FUNCIONAL.PDF	APPLICATION/ACROBAT

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H  
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u  
v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Especialista en Automatización e Informática Industrial

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Postgrado Ingeniería Eléctrica

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Electricidad

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

**DERECHOS**

De Acuerdo al Artículo 44 del Reglamento de Trabajos de Grado:\_\_\_  
"Los trabajos especiales de grado son de exclusiva propiedad de la  
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados para otros fines  
con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo  
participara al Consejo Universitario"\_\_\_\_\_

**AUTOR**

**AUTOR**

**AUTOR**

Pérez V., Carlos E

**TUTOR**

**JURADO**

**JURADO**

González, Yordy

Heraoui, Margarita

Rodríguez, Romel

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**