

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
VÁLVULAS DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO,  
EN CAMPO DE PRODUCCIÓN DE PETROLEO EN EL DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

**IVÁN DARÍO RICO BRAVO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2017**

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
VÁLVULAS DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO,  
EN CAMPO DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO EN EL DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Especialista de Producción de Hidrocarburos**

**IVÁN DARÍO RICO BRAVO**

**DIRECTOR**

**Fernando Enrique Calvete Gonzalez**

**Ingeniero de Petroleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2017**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
1. GENERALIDADES DE DISEÑO, FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO.....	17
1.1 VÁLVULA DE CONTROL .....	17
1.2 CLASE DE VÁLVULAS DE CONTROL Y SU CARACTERIZACIÓN.....	18
1.2.1 Válvula de control tipo globo o de vástago deslizante.....	21
1.2.2 Válvula de control rotativas tipo bola y tipo mariposa. ....	22
1.3 VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO MULTIPUERTO .....	24
2. ANÁLISIS TÉCNICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO .....	35
2.1 INFORMACIÓN DE LOS POZOS PRODUCTORES SELECCIONADOS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA.....	35
2.2 ESQUEMAS DE OPERACIÓN, MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO .....	42
2.3 MODOS DE OPERACIÓN DE LA VÁLVULA MULTIPUERTO.....	46
2.4 MODELACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO EN EL SOFTWARE ESPECIALIZADO HYSYS V8.4 .....	48
2.4.1 Modelación y caracterización del mezclador.....	48
2.4.2 Caracterización y simulación de la válvula multipuerto en el software especializado HYSYS V8.4.....	50
2.4.3 Ensamble final y simulación de la válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto.....	52
2.5 SIMULACIÓN VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO, CON SEIS (6) POZOS PRODUCTORES ALINEADOS .....	53
2.5.1 Modo de operación con los seis (6) pozos seleccionados a separador principal.....	86
2.5.2 Modo de operación, pozo seleccionado a separador de prueba.....	95
3. ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA VÁLVULA MULTIPUERTO.....	104

3.1	MATRIZ DOFA .....	104
3.1.1	Criterios para la evaluación de proyectos de Ingeniería.....	104
3.1.2	Preparación de la matriz DOFA.....	105
3.1.3	Información y factores a evaluar para la elaboración de la Matriz DOFA.....	106
3.1.3.2	Factores Externos.....	107
3.1.4	Análisis y alimentación de información a la herramienta en línea SWOT.....	108
3.1.5	Matriz DOFA de la implementación de la válvula Mutipuerto .....	115
3.1.6	Diagrama del Vector Estratégico .....	116
4.	ANÁLISIS FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL TIPO MULTIPUERTO .....	117
4.1	FLUJO DE CAJA OPERACIÓN MANIFOLD TRADICIONAL .....	119
4.2	FLUJO DE CAJA OPERACIÓN SISTEMA CON LA VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO .....	120
5.	CONCLUSIONES .....	123
6.	RECOMENDACIONES.....	125
	BIBLIOGRAFIA.....	126

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Diámetros y ANSI CLASS disponibles para la selección y configuración de la válvula multipuerto Bettis Emerson ® .....	30
Tabla 2 Datos de la producción de cada uno de los pozos seleccionados para la implementación de la válvula tipo Multipuerto.....	35
Tabla 3 Flujo de caja Manifold tradicional .....	119
Tabla 4 Flujo de caja con la implementación de la válvula Multipuerto .....	120
Tabla 5. Comparación de los costos totales de la implementación del sistema tradicional Vs. la nueva tecnología.....	122

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 TRIM caracterizado, apertura rápida, lineal e igual porcentaje.....	19
Figura 2 Curvas características de una válvula de control .....	20
Figura 3 Ensamble completo básico de una válvula de control tipo globo.....	21
Figura 4 Componentes internos o TRIM de la válvula de control tipo globo.....	22
Figura 5 Válvula de control tipo Bola y Válvula de control tipo Mariposa.....	23
Figura 6 Disco caracterizado para válvulas de control tipo mariposa y Bola segmentada para válvulas de control tipo Bola. ....	24
Figura 7 Manifold o Colector convencional .....	25
Figura 8 Imagen del colector tradicional, arreglo y agrupación de los pozos alineados....	26
Figura 9 Arreglo simplificado con la implementación de la válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto.....	28
Figura 10 Imagen de la configuración típica de dos válvulas multipuerto alineadas a pozos productores. ....	29
Figura 11 Válvula Multipuerto Bettis Emerson .....	30
Figura 12 Componentes internos válvula de dirección de flujo tipo Multipuerto .....	31
Figura 13 Componentes internos y ensamble de sellos válvula de control Multipuerto ...	32
Figura 14 Panel de configuración de parámetros y visualización de estados y alarmas... 33	
Figura 15 Panel de configuración de parámetros y visualización de estados y alarmas... 34	
Figura 16 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-0137	
Figura 17 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-0237	
Figura 18 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-0338	
Figura 19 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-0439	
Figura 20 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-0640	

Figura 21 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-03T .....	41
Figura 22 Características técnicas del TRIM de la Válvula Multipuerto. ....	45
Figura 23 Funcionamiento interno de la válvula en modo de operación de suma. ....	46
Figura 24 Funcionamiento interno de la válvula en modo de selección de un pozo para separador de prueba, en este caso la selección es el pozo No 5.....	47
Figura 25 Imagen correspondiente a la pantalla de configuración del elemento mezclador del Software HYSYS V8.4 .....	49
Figura 26 Imagen pozos alineados al sumador o mezclador, software especializado HYSYS V8.4.....	49
Figura 27 Esquema de la válvula de control, software especializado HYSYS V8.4.....	50
Figura 28 Imágenes de pantalla de configuración de la válvula de control.....	51
Figura 29 Esquema final de la modelación de la Válvula Multipuerto.....	52
Figura 30 Esquema de simulación Válvula Multipuerto en operación con todos los pozos alineados a separador principal .....	54
Figura 31 Corriente total de salida M1, correspondiente al pozo GSW-01 .....	55
Figura 32 Visualización de variables de producción pozo GSW-01 .....	56
Figura 33 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M1 del pozo GSW-01 ....	57
Figura 34 Corriente total de salida M2, correspondiente al pozo GSW-02 .....	58
Figura 35 Visualización de variables de producción pozo GSW-02 .....	58
Figura 36 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M2 del pozo GSW-02 ....	60
Figura 37 Corriente total de salida M3, correspondiente al pozo GSW-03 .....	60
Figura 38 Visualización de variables de producción pozo GSW-03 .....	61
Figura 39 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M3 del pozo GSW-03.....	62
Figura 40 Corriente total de salida M4, correspondiente al pozo GSW-04 .....	63

Figura 41 Visualización de variables de producción pozo GSW-04 .....	63
Figura 42 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M4 del pozo GSW-04 .....	65
Figura 43 Corriente total de salida M5, correspondiente al pozo GSW-06 .....	65
Figura 44 Visualización de variables de producción pozo GSW-06 .....	66
Figura 45 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M5 del pozo GSW-06 .....	67
Figura 46 Corriente total de salida M6, correspondiente al pozo GSW-03ST.....	68
Figura 47 Visualización de variables de producción pozo GSW-03ST .....	68
Figura 48 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M6 del pozo GSW-03ST.	70
Figura 49 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-01 .....	71
Figura 50 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-01 .....	71
Figura 51 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-01 .....	72
Figura 52 Pantalla de configuración para la transferencia de calor, presente en los segmentos de tubería, accesorios de conexión y válvula de corte manuales.....	73
Figura 53 Representación esquemática válvula de corte tipo bola.....	74
Figura 54 Pantalla de configuración de un segmento como un accesorio de conexión... ..	74
Figura 55 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-02 .....	75
Figura 56 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-02.....	75
Figura 57 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-02 .....	76
Figura 58 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-03 .....	77
Figura 59 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-03.....	77
Figura 60 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-03 .....	78

Figura 61 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-04 .....	79
Figura 62 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-04.....	80
Figura 63 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-04 .....	81
Figura 64 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-06 .....	82
Figura 65 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-06.....	82
Figura 66 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-06 .....	83
Figura 67 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW- 03ST.....	84
Figura 68 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-03ST .....	84
Figura 69 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-03ST..	85
Figura 70 Esquema de simulación de la válvula de control.....	87
Figura 71 Variables de producción a la salida del sumador .....	87
Figura 72 Envolvente de fase o diagrama PT del crudo luego de la mezcla .....	89
Figura 73 Pantalla de configuración de corrientes de entrada y salida de la válvula .....	90
Figura 74 Pantalla de configuración de parámetros de operación de la válvula de control .....	90
Figura 75 Punto de operación en el 50% de apertura, para estar en la región lineal de la gráfica.....	91
Figura 76 Pantalla de configuración de conexiones de la válvula de control .....	92
Figura 77 Pantallas en donde se puede visualizar el delta de presión .....	93
Figura 78 Punto de análisis a la salida de la válvula de control y estado de las variables de producción .....	94

Figura 79 Esquema básico de configuración modo de selección de un pozo a separador de prueba. ....	95
Figura 80 Esquema de operación modo de selección de pozo a separador de prueba....	96
Figura 81 Variables de producción a la entrada de la válvula de control.....	97
Figura 82 Envoltorio de fase o diagrama PT del crudo del pozo seleccionado.....	98
Figura 83 Pantalla de configuración de corrientes de entrada y salida de la válvula .....	99
Figura 84 Pantalla en donde se puede visualizar el delta de presión .....	100
Figura 85 Punto de análisis a la salida de la válvula de control y estado de las variables de producción.....	101
Figura 86 Esquema básico de una facilidad de producción aguas abajo de la válvula tipo Multipuerto.....	103
Figura 87 Representación gráfica de la matriz DOFA .....	105
Figura 88 Pantalla de configuración de la aplicación en línea SWOT para factores internos .....	107
Figura 89 Pantalla de configuración de la aplicación en línea SWOT para factores externos.....	108
Figura 90 Pantalla de configuración factores internos – Personas y habilidades .....	109
Figura 91 Pantalla de configuración factores internos – Recursos.....	109
Figura 92 Pantalla de configuración factores internos – Marketing .....	110
Figura 93 Pantalla de configuración factores internos – Operaciones.....	111
Figura 94 Pantalla de configuración factores internos – Finanzas .....	111
Figura 95 Pantalla de configuración factores externos – Medio Ambiente .....	112
Figura 96 Pantalla de configuración factores externos – Financiamiento.....	112
Figura 97 Pantalla de configuración factores externos – Mercado Internacional.....	113
Figura 98 Pantalla de configuración factores externos – Mercado Interno .....	113

Figura 99 Pantalla de configuración factores externos – Competidores.....	114
Figura 100 Matriz DOFA de la implementación de la válvula Mutipuerto .....	115
Figura 101 Diagrama del Vector Estratégico.....	116
Figura 102 Esquema final de montaje de la válvula de control de dirección de flujo, tipo Mutipuerto.....	118

## RESUMEN

**TITULO:** ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO, EN CAMPO DE PRODUCCIÓN DE PETROLEO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.\*

**AUTOR:** IVÁN DARIO RICO BRAVO\*\*

**Palabras Claves:** Sector del petróleo, válvulas de control de dirección de flujo, multipuerto, seguridad, costos

### **Descripción:**

El sector del petróleo se enfrenta a un proceso de reestructuración ante la necesidad de reducir los costos operativos y de personal, frente a esta situación la tesis que se presenta a continuación busca presentar un análisis técnico-económico para la implementación de la válvula de control de tipo multipuerto que permita lograr disminuir costos y optimizar la línea de producción en superficie desde los diferentes pozos alineados, hasta el separador principal y separador de prueba.

El documento explica el impacto del uso de la válvula sobre los índices de seguridad para el personal operativo en campo, los indicadores de confiabilidad, disponibilidad del sistema de producción, es decir que busca mejorar las condiciones de operación y la seguridad de las personas y del medio que lo rodea.

El proyecto es altamente atractivo para los inversionistas o para la compañía que desea hacer el estudio y la implementación del mismo, ya que se tiene un bajo nivel de riesgos asociados, un corto tiempo de retorno de la inversión y luego de generar el retorno completo de la inversión, se presenta un flujo de caja muy atractivo.

Los beneficios operacionales y técnicos son muy importantes para el proceso, en temas de controlabilidad, aumento en los índices de seguridad para el personal operativo en campo, mejora en los indicadores de confiabilidad y disponibilidad del sistema de producción. Se presentan mejoras en términos de reducción de puntos de fallas, los cuales pueden no solo afectar la producción si no, afectaciones en términos ambientales en la zona de implementación. Se recomienda la implementación de esta tecnología en campos de producción en desarrollo, ya que va permitir tener grandes ahorros operacionales y mejorar el control sobre diferentes variables que con el sistema tradicional no se podría

-----

\* Monografía de Especialización.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director Fernando Enrique Calvete. Ingeniero de Petróleos.

## ABSTRACT

**TITLE:** ECONOMIC TECHNICAL ANALYSIS FOR THE IMPLEMENTATION OF MULTIPUTER TYPE FLOW DIRECTION CONTROL VALVES, IN THE OIL PRODUCTION FIELD IN THE TOLIMA DEPARTMENT.\*

**AUTHOR:** IVÁN DARIO RICO BRAVO\*\*

**KEYWORDS:** OIL SECTOR, FLOW DIRECTION CONTROL VALVES, MULTI PORT, SAFETY, COSTS

The petroleum sector is facing a process of restructuring in view of the need to reduce operating and personnel costs. In view of this situation, the thesis presented below seeks to present a technical-economic analysis for the implementation of the control valve of Multiport type that allows to achieve decrease costs and optimize the surface production line from the different aligned wells, to the main separator and test separator. The document explains the impact of the use of the valve on the safety indexes for the operational personnel in the field, the reliability indicators, the availability of the production system, that is to say, it seeks to improve the operating conditions and the safety of people and Surrounding medium.

The project is highly attractive to investors or the company that wants to do the study and implementation of the project, since it has a low level of associated risks, a short time of return on investment and then generate the full return of The investment, there is a very attractive cash flow. The operational and technical benefits are very important for the process, in issues of controllability, increase in the safety indexes for the operational personnel in the field, improvement in the reliability indicators and Availability of the production system. There are improvements in terms of reduction of failure points, which can not only affect the production, but also affect the environment in the area of implementation. It is recommended to implement this technology in production fields in development, as it will allow large operational savings and improve control over different variables that with the traditional system could not

---

\* Specialization Monograph.

\*\* Physic-chemist Engineering Faculty. Petroleum Engineering School, Director Fernando Enrique Calvete, Petroleum engineering.

## INTRODUCCIÓN

En la actual situación del sector Petrolero a nivel mundial, todas las compañías operadoras están en un proceso de constante reducción de costos operativos y de personal, planteando proyectos de mejora a mediano y largo plazo, obteniendo mayor rentabilidad y sostenibilidad en el mercado y así poder continuar con la operación de los diferentes campos productivos y día a día ser cada vez más productivos y competitivos.

Por medio de la presente monografía, se analizará la situación actual de un campo de producción en la zona del Tolima, el cual tiene gran posibilidad de mejora.

Con la evaluación técnica y económica de la implementación de la válvula de control tipo multipuerto, se podrán reducir costos operativos, de mantenimiento y optimizar la línea de producción en superficie, desde los diferentes pozos alineados, hasta el separador principal y separador de prueba, reduciendo considerablemente los riesgos asociados a esta operación y teniendo un control total del proceso en este punto.

## **1. GENERALIDADES DE DISEÑO, FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO**

La válvula de control de dirección de flujo tipo Multipuerto, es una válvula de alta tecnología, con la que se tiene la posibilidad de operar remotamente y alinear una línea de flujo hacia un proceso de medición o directamente hacia un separador de pruebas.

Esta válvula tiene la capacidad de alinear en sus puertos principales hasta siete (7) líneas de flujo. En el interior de la válvula todos estos flujos son sumados y alineados a un solo puerto de salida.

Para el caso en donde se requiera seleccionar una de estar corrientes, la válvula tiene la posibilidad de redireccionar la línea de flujo deseada hacia un proceso especial, manteniendo las demás corrientes de flujo sin alteración alguna.

La confiabilidad operacional de la válvula, se asegura ya que esta integra un actuador eléctrico de última generación, el cual con su alta tecnología tiene la capacidad de posicionar la válvula en la posición requerida, transmisión en tiempo real información de posición, confirmación de operación de apertura y cierre e información de diagnóstico y señal de alarma.

### **1.1 VÁLVULA DE CONTROL**

Existen numerosos procesos industriales en donde se requieren controlar variables como presión, temperatura, nivel y otras entre las que se encuentra la dirección de flujo. Los elementos finales de control en estos procesos son las válvulas de control, las cuales se vienen operando de forma convencional pero actualmente se pueden implementar con accesorios de alta tecnología.

La válvula de control manipula el fluido de vapor, de gas, de agua, de una sustancia química o de cualquier tipo de fluido que pasa a través de ella, compensando las diferentes variables que intervienen en el proceso, regulando o cerrando la apertura de esta al punto deseado o requerido para el proceso.

Muchas personas relacionan a las válvulas de control, como ensambles completos entre un cuerpo, sus partes internas especiales y un accionamiento el cual se define como un actuador o fuerza motriz. Adicional también se encuentran

presentes accesorios que cumplen la función de comunicar, regular y hacer que el movimiento de la válvula sea lo mas preciso y confiable posible.

De la correcta selección de la válvula y de todos sus componentes tanto externos como internos, se puede garantizar la precisión, velocidad, respuesta, sintonía y control del lazo de control.

## **1.2 CLASE DE VÁLVULAS DE CONTROL Y SU CARACTERIZACIÓN**

El estilo de una válvula de control y su dimensionamiento, pueden llegar a afectar positivamente o negativamente la eficiencia y rendimiento del sistema de control. Mientras el tamaño de una válvula, por ejemplo debe ser lo suficientemente amplio para manejar un gran flujo o caudal otra tiene la función de controlar o manejar otra variable de proceso, como lo puede ser dirección, presión, etc.

La selección de un tipo de válvula a otra, depende de las condiciones y variables que se desean o se requieran controlar. Existen relaciones entre la capacidad de flujo a manejar y el diferencial de presión que se pueda presentar, con una apertura, recorrido o restricción internamente en la válvula o de su orificio interno.

Otro aspecto muy importante o esencial para tener presente, son los componentes internos de las válvulas de control. Estos elementos se seleccionan o se definen de acuerdo a la relación que se presenta entre las variables involucradas en el proceso, por ejemplo, caudal, diferencial de presión y la gravedad específica del fluido a controlar.

Los componentes internos, según sea el tipo de válvula, se define comúnmente como el TRIM. El TRIM, es un conjunto de elementos internos que están en contacto directo con el fluido y con toda la energía del proceso, por esta razón es que la selección correcta de este conjunto de elementos, es vital para el correcto funcionamiento del sistema.

Para el caso de válvulas más especializadas como lo son las válvulas de control o modulantes, estas tienen internos con diseños especiales, los cuales determinan el comportamiento, eficiencia y operación en el proceso.

Los internos caracterizados se clasifican como de Apertura Rápida, Lineales e Isoporcentuales o de igual porcentaje. Cada uno de estos tiene un comportamiento único y se seleccionada de acuerdo a filosofías de control de los lazos, sintonía y variables de proceso.

A continuación se muestran las cajas características de una válvula de control tipo Globo. Estas cajas características hacen parte fundamental del TRIM o internos de la válvula.

Figura 1 TRIM caracterizado, apertura rápida, lineal e igual porcentaje



Fuente: Catalogo en línea ( Fisher control Valves)<sup>1</sup>

Como se puede observar en las imágenes, cada una de las cajas o TRIM, tienen diseños específicos los cuales hacen que el flujo tenga un comportamiento determinado y esperado para la controlabilidad del proceso.

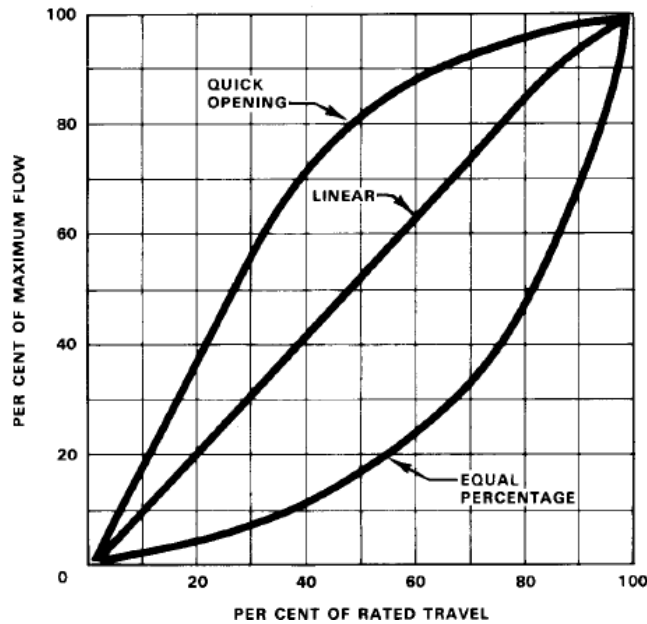
Los diseños de estos elementos son muy especiales y complejos, de acuerdo al proceso y a las condiciones operativas, estos elementos de las válvulas o en caso tal donde todo el ensamble de la válvula, se vuelve muy complejo y de alto grado de detalle y construcción.

Si se realizara para cada de las anteriores TRIM caracterizados una gráfica que representara el comportamiento de la válvula, esta seria de la siguiente manera:

<sup>1</sup>EMERSON. Boletín [en línea].

<http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/bulletins/d101363x012.pdf>

Figura 2 Curvas características de una válvula de control



Fuente: Catalogo en línea ( Fisher control Valves)<sup>2</sup>

En la anterior imagen se puede observar como se relaciona el recorrido mecánico de apertura o cierre de la válvula y la caracterización de sus elementos internos.

A partir de estas relaciones, se logra especificar la relación matemática que involucra el cálculo matemático del coeficiente de flujo o CV:

$$Cv = Q * \sqrt{\frac{SG}{\Delta P}}$$

1 Cv = 1 gpm de H<sub>2</sub>O @ 60 grados F con 1 psid

CV: Coeficiente de flujo

Q: Caudal o flujo

SG: Gravedad específica del fluido

<sup>2</sup> Ibid

DP: Presión diferencial que se presenta en la línea de proceso debido a la válvula

Con este coeficiente y con las variables que se involucran, se logran representar los puntos operativos de las válvulas de control en las gráficas anteriormente mencionadas.

**1.2.1 Válvula de control tipo globo o de vástago deslizante:** La válvula de control tipo globo o de vástago deslizante, es la válvula más común y conocida debido a su alta resistencia, eficiencia y confiabilidad en su funcionamiento.

Este tipo de válvula, se especializa en procesos en donde se requiera controlar altas caídas de presión, alta precisión en los lazos de control y exactitud en el posicionamiento.

A continuación se muestra el ensamble típico de una válvula de control tipo Globo:

Figura 3 Ensamble completo básico de una válvula de control tipo globo



Fuente ( Brochure en Línea Fisher Control Valves)<sup>3</sup>

Los componentes internos de la válvula de control, son esenciales para generar control en el fluido que pasa a través de la válvula y de transformar la energía que se presenta en el proceso.

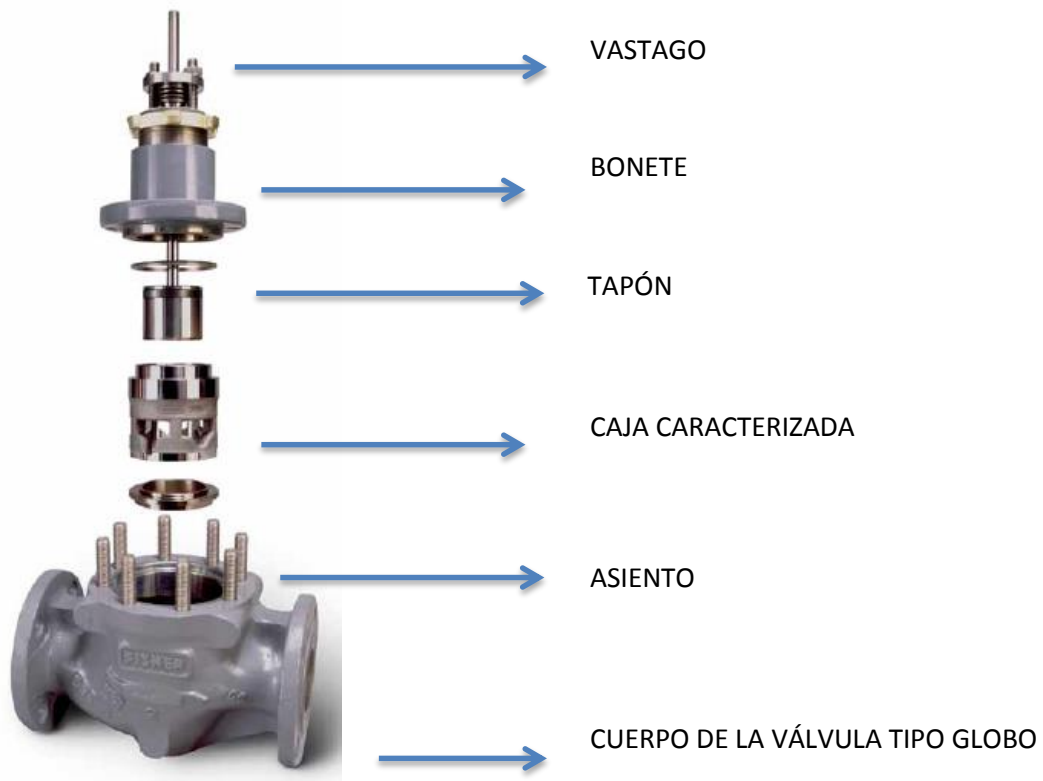
---

<sup>3</sup><http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/brochures/d350365x012.pdf>

Para una válvula tipo globo, el TRIM se compone básicamente de un tapón, un asiento, un vástago y elementos que generan sello del interior hacia el exterior del cuerpo de la válvula.

A continuación se muestran las diferentes partes que componen al TRIM:

Figura 4 Componentes internos o Trim de la válvula de control tipo globo



Fuente ( Brochure en Línea Fisher Control Valves)<sup>4</sup>

**1.2.2 Válvula de control rotativas tipo bola y tipo mariposa:** Las válvulas de control rotativas, son válvulas de control utilizadas en diversas aplicaciones y procesos. Estas válvulas incorporan una gran tecnología en el manejo y control de fluidos, convirtiéndose en alternativas técnicas eficientes a un costo más reducido, en relación a los costos de una válvula tipo globo.

<sup>4</sup> <http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/brochures/d350365x012.pdf>

Las válvulas de control rotativas, están orientadas al manejo de grandes capacidades de flujo o de caudal, pero no se recomiendan para aplicaciones en donde se presentan altas caídas de presión, ya que son muy propensas debido a su configuración y geometría, a entrar en la región de cavitación o altas vibraciones

La configuración mecánica de esta clase de válvulas es muy simple, en relación a una válvula de control tipo globo.

A continuación se muestra el ensamble válvula actuador de una válvula de control tipo bola y de una válvula de control tipo mariposa:

Figura 5 Válvula de control tipo Bola y Válvula de control tipo Mariposa



Fuente ( Brochure en Línea Fisher Control Valves)<sup>5</sup>

Los componentes internos de las válvulas de control rotativas, son esenciales para generar control en el fluido que pasa a través de la válvula y de transformar la energía que se presenta en el proceso.

---

<sup>5</sup> <http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/bulletins/d101363x012.pdf>

Para una válvula de control tipo rotativa, bola y mariposa, el TRIM se compone básicamente de una bola segmentada y de un disco caracterizados, más elementos que generan sello del interior hacia el exterior del cuerpo de la válvula.

La configuración y el número de componentes internos de las válvulas de control rotativas, son más simples y con menos elementos, pero no siendo así es de menor tecnología o calidad.

A continuación se muestran las diferentes partes que componen al TRIM:

Figura 6 Disco caracterizado para válvulas de control tipo mariposa y Bola segmentada para válvulas de control tipo Bola.



Fuente: Catalogo en línea ( Fisher control valves)<sup>6</sup>

### 1.3 VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO MULTIPUERTO

Entre las diferentes clasificaciones de válvulas de control de procesos, podemos encontrar válvulas especializadas como lo son las válvulas de control de flujo tipo Multipuerto.

Estas válvulas de control, hacen parte de la gran familia de válvulas rotativas, ya que la selección de una posición y otra, se realiza por medio de un movimiento rotativo en el interior de la válvula.

El objetivo de este trabajo de grado, es el análisis y estudio de la implementación de esta clase de válvulas de control de procesos, en la línea de flujo de los pozos

---

<sup>6</sup> <http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/brochures/d350004x012.pdf>

hasta el separador principal y separador de prueba, en un campo de producción de Petróleo.

Los diferentes fluidos de los pozos en un campo de producción determinado, como los son el crudo, el agua, el gas y el condensado entre otros, son transportados en líneas de tuberías, las cuales llegan a un colector común desde los cabezales de pozo. Estos colectores pueden estar muy lejanos de la facilidad de producción en superficie o en casos especiales costa afuera.

Los colectores de recibo o de agrupación de líneas de pozos, tienen como función fuera de la agrupación, poder seleccionar líneas individuales para así en las facilidades de producción poder analizar, particularmente cada una de las líneas de acuerdo a la selección requerida y así generar un mejor aprovechamiento y conocimiento de cada uno de los pozos agrupados en el colector.

Figura 7 Manifold o Colector convencional

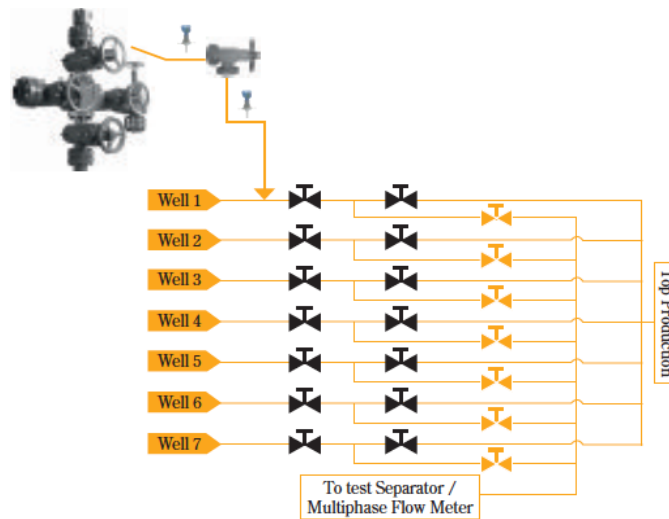


Fuente (Imagen tomada en campo de producción petrolero en el departamento del Tolima, nombre del campo, confidencial)

La válvula de control de dirección de flujo, tipo multipuerto, facilita la selección y direccionamiento del fluido de los diferentes pozos alineados o agrupados para las correspondientes pruebas y/o análisis. Estas pruebas o medición de variables, hacen parte crucial del proceso de producción, ya que con estas, es que es posible determinar características principales de los fluidos y de sus propiedades físico químicas.

Una de las principales ventajas que se presenta al implementar esta tecnología es la ininterrupción de producción de los pozos que no fueron seleccionados por la válvula y por lo tanto de la producción de todo el conjunto.

Figura 8 Imagen del colector tradicional, arreglo y agrupación de los pozos alineados.



Fuente (Chaitanya and Prathesh, 2013)<sup>7</sup>

En la imagen anterior se puede observar la línea del separador de prueba y/ o medición de flujo multifásico, en este arreglo también se pueden observar el gran número de válvulas y tubería empleada para lograr tener la agrupación de los diferentes pozos y la selección para el análisis de cada uno de estos.

A continuación se muestra la comparación en relación a las ventajas y desventajas del sistema de colector o manifold convencional en relación a la operación con la válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto.

---

<sup>7</sup> Chaitanya , S. and Prathesh , S. Well Tested, Emerson reveals how the multiport flow selectors (MPFS) in Oil and Gas applications can improve production testing and reservoir management. [En\\_Oil & Gas Middle East](#), February 13 2013, 65-67 p

### **Colector tradicional con línea de flujo a Separador de Prueba:**

- Implementación del sistema con un gran número de válvulas y accesorios de conexión.
- Para la conexión e implementación del sistema se requiere mayor cantidad de líneas de tuberías.
- Aumento de probabilidad de presencia de fugas de fluidos en el sistema, debido a mayores puntos de unión y/o de fatiga de materiales.
- Gran peso del arreglo de tubería y válvulas
- Mayores costos de mantenimiento, costos OPEX.
- Consecución y compra mayor de componentes, como repuestos y elementos de re cambio.
- Operación del sistema manualmente.
- Aumento de riesgos para el personal que manipula las válvulas para la correspondiente configuración del sistema.

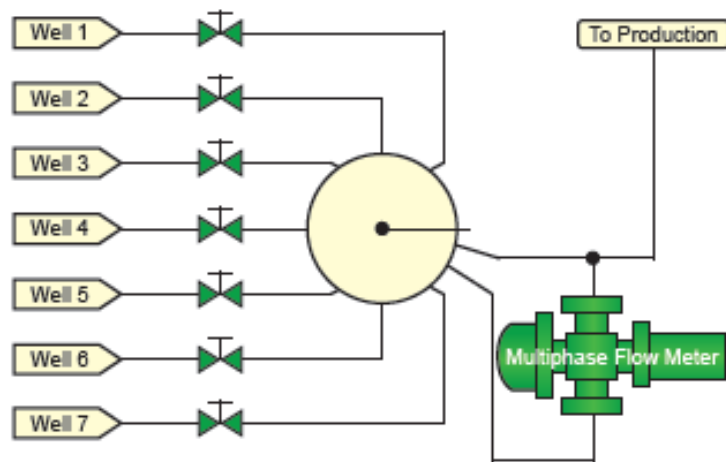
### **Válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto:**

- Unidad de Well Testing automatizada para control remoto.
- Reducción en líneas de tuberías para la implementación del sistema.
- Reducción drástica en el número de válvulas de corte y de accesorios de conexión.
- Reducción en el material de anclaje o de sustentación, debido a la disminución de peso del sistema.
- Reducción en la probabilidad de fugas, debido a la disminución de puntos de unión y/o de conexión.
- Reducción en el mantenimiento al sistema, reducción en el OPEX.
- El sistema puede ser montado sobre un SKID para facilidad de montaje y transporte, solamente es conectar y poner en marcha el sistema.

- Reducción en las dimensiones finales del sistema armado, mayor posibilidad de instalación en operaciones costa afuera o en locaciones en donde se carezca de espacio.
- Simplicidad en la compra de elementos ya que se puede constituir como un sistema compacto y listo para operar. <sup>8</sup>

A continuación se muestra la configuración de un manifold de producción, implementado con la tecnología de la válvula multipuerto, se puede observar la simplicidad y la reducción de elementos, lo que genera aumento en la confiabilidad del sistema debido a la reducción de elementos y puntos de falla.

Figura 9 Arreglo simplificado con la implementación de la válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto.



Fuente: Tomado de Brochure en línea Multiport Flow Selector<sup>9</sup>

Como se pueden observar los beneficios técnicos y operacionales son muy altos. El aumento en la confiabilidad, disponibilidad y controlabilidad del sistema son de gran interés en el manejo de la producción de un campo.

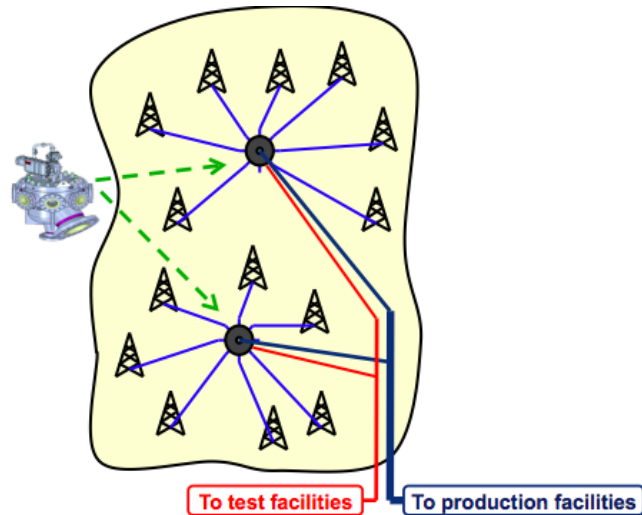
<sup>8</sup>[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/Total\\_Integrated\\_Solutions\\_GBL.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/Total_Integrated_Solutions_GBL.pdf)

9

[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/Total\\_Integrated\\_Solutions\\_GBL.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/Total_Integrated_Solutions_GBL.pdf)

Este sistema se vuelve muy interesante en campos de producción en donde se tiene diferentes clústeres de producción. A continuación, se puede observar una típica configuración de la alineación de varios pozos productores a dos válvulas multipuerto.

Figura 10 Imagen de la configuración típica de dos válvulas multipuerto alineadas a pozos productores.



Fuente: Tomado de Brochure en línea Multiport Flow Selector<sup>10</sup>

La válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto, es una válvula de alta tecnología, que implementa un diseño relativamente sencillo, el cual cuenta con un controlador de posición o actuador eléctrico, de alta confiabilidad, velocidad y controlabilidad.

A continuación se encuentran las especificaciones técnicas relacionadas a una la válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto, de la marca Bettis Emerson ®. El modelo de esta clase de válvula en este fabricante puntualmente es MPFS (Multiport Flow Selector):

<sup>10</sup>

[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/Total\\_Integrated\\_Solutions\\_GBL.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/Total_Integrated_Solutions_GBL.pdf)

Figura 11 Válvula Multipuerto Bettis Emerson



Fuentes: Brochure en línea Multiport Flow Selector<sup>11</sup>

Los diámetros, ANSI CLASS y tipos conexiones están disponibles para un gran número de aplicaciones, para este modelo de válvula en el fabricante Bettis Emerson® son los siguientes:

**Tabla 1 Diámetros y ANSI CLASS disponibles para la selección y configuración de la válvula multipuerto Bettis Emerson®**

SIZE	ANSI CLASS					
	150	300	600	900	1500	2500
2X4	X	X	X	X		
3X6	X	X	X	X	X	
4X8	X	X	X	X		
4X10				X	X	
6X16	X	X	X	X	X	X

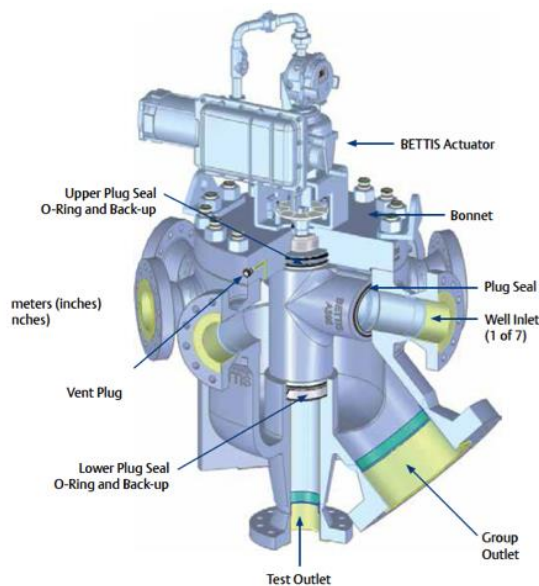
Fuente: Brochure en línea Multiport Flow Selector<sup>12</sup>

<sup>11</sup> [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/valvula-desviadora-multicanal-11922-6636905.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/valvula-desviadora-multicanal-11922-6636905.jpg)

De acuerdo a la anterior tabla, la válvula de control de dirección de flujo, tipo multipuerto, esta diseñada para operar en diversas aplicaciones y condiciones de producción, con la posibilidad de poder manejar grandes rangos de presión y caudal.

En la siguiente imagen se pueden observar las diferentes partes que constituyen la válvula de control de dirección de flujo multipuerto, en el fabricante Bettis Emerson ®:

Figura 12 Componentes internos válvula de dirección de flujo tipo Multipuerto



Fuente: Brochure en línea Multiport Flow Selector<sup>13</sup>

---

12

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/DOC.6P.MFS.UK.pdf>

13

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/DOC.6P.MFS.UK.pdf>

La operación de esta válvula de control de dirección de flujo es relativamente sencillo. Es una válvula de tipo multi vuelta , lo cual permite implementar una gran variedad de tipos de actuadores.

En relación a las partes internas de esta válvula Multipuerto, el TRIM es diseñado especialmente para operar bajo condiciones extremas de temperatura altos diferenciales de presión y condiciones severas en la composición de los fluidos a manejar.

En relación a condiciones corrosivas o abrasivas, la selección de los internos de la válvula, se deberá realizar con una gran atención en la selección de los materiales correctos.

El rotor principal y para aplicaciones generales, esta construido en acero ASTM A395. Para el caso en donde el fluido o las condiciones son corrosivas, el material correcto a seleccionar es Inconel A536 o acero inoxidable CF3M.

En relación a la selección de los materiales blandos, como lo son sellos y empaquetaduras, estas también tienen que ser validas de acuerdo a las condiciones de temperatura, presión y compatibilidad química.

Algunos materiales típicos de estos elementos son teflón, viton, carbono etc. A continuación se encuentran las imágenes de los componentes internos principales de la válvula:

Figura 13 Componentes internos y ensamble de sellos válvula de control Multipuerto



Fuente: Brochure en línea Multiport Flow Selector <sup>14</sup>

14

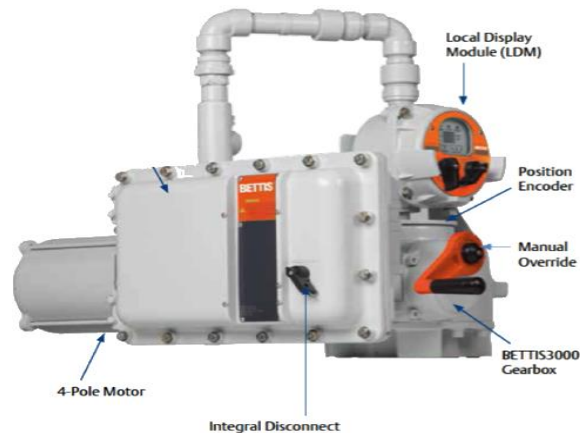
<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/DOC.6P.MFS.UK.pdf>

En relación al actuador o elemento motriz del sistema, en la mayoría de aplicaciones el tipo de actuador seleccionado es un actuador eléctrico de última generación, el cual incluye funciones de diagnóstico, de posicionamiento, diferentes clases de protocolos de comunicación, protecciones eléctricas, funciones de control avanzado y alta velocidad entre otros, lo cual permite tener un óptimo control, monitoreo y confiabilidad en tiempo real del proceso de producción.

El actuador eléctrico, debido a sus múltiples ventajas, es la mejor selección de tipo de elemento motriz. El actuador al solo requerir una fuente de alimentación de tensión alterna, bifásica o trifásica hace que los costos de operación e implementación sea menores frente a otras tecnologías de actuadores, que se pueden conseguir en el mercado.

Para tener una mejor idea del tipo de actuador empleado en esta válvula Multipuerto, en la siguiente imagen se puede observar el actuador eléctrico de última tecnología de la marca Bettis Emerson ® empleado.

Figura 14 Panel de configuración de parámetros y visualización de estados y alarmas.



Fuente: Brochure en línea Multiport Flow Selector <sup>15</sup>

A continuación se relacionan las características más sobresalientes del equipo:

---

15

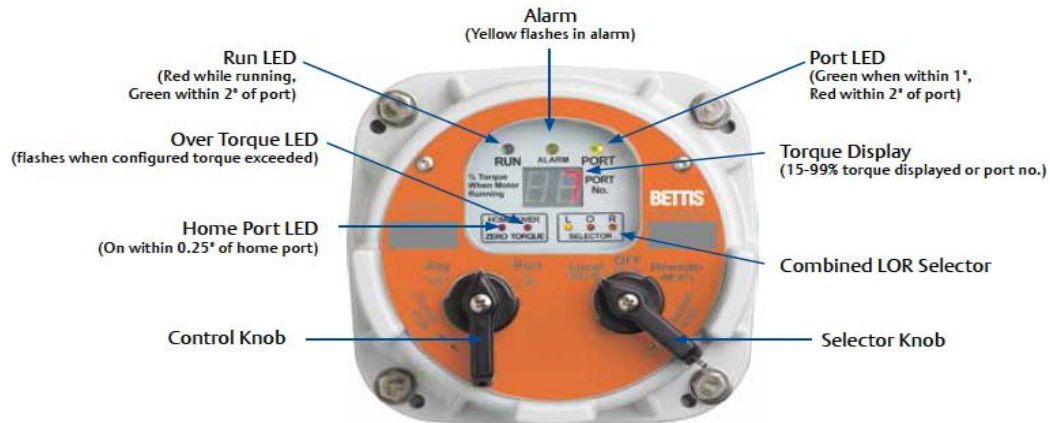
<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/DOC.6P.MFS.UK.pdf>

- Clasificación de zona: Explosion proof
  - Class I, Div I, Groups C & D
  - EEx d IIB T4
- Transmisión y caja de reductora de alto torque: 3000 ft lbs
- Motor: cuatro (4) polos para configuración multiple voltaje.
- Protocolos de comunicación: Modbus, Modbus TCP/IP, Profibus DP, FOUNDATION™, Fieldbus, DeviceNet and Ethernet
- Rango de temperatura de operación: – 58°F a +149°F (-50°C a +65°C)
- Retroalimentación de posición: Encoder de 12 bit

Los diferentes procesos de configuración del actuador, se pueden realizar por medio de la interfaz del panel de control ubicado con el equipo. También se puede realizar remotamente por medio del sistema de comunicación.

En la siguiente imagen se puede observar el diseño del panel de control local de configuración, amigable con el usuario u operador :

Figura 15 Panel de configuración de parámetros y visualización de estados y alarmas.



Fuente: Brochure en línea Multiport Flow Selector <sup>16</sup>

<sup>16</sup>

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/DOC.6P.MFS.UK.pdf>

## 2. ANÁLISIS TÉCNICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO

En este capítulo se van a analizar diferentes factores técnicos que conlleva la implementación de una válvula de control de dirección de flujo, tipo Multipuerto, de acuerdo a las características e información de producción del campo al cual se le va a realizar el análisis.

### 2.1 INFORMACIÓN DE LOS POZOS PRODUCTORES SELECCIONADOS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

Con la información que se lista en la siguiente tabla, se desarrollaron todos los cálculos y simulaciones requeridas para poder llegar a representar de una forma aproximada el comportamiento hidráulico, mecánico y físico de la implementación de una válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto en el sistema de producción del campo.

**Tabla 2 Datos de producción de cada uno de los pozos seleccionados para la implementación de la válvula tipo Multipuerto**

POZO FORMACIÓN	ISLA	BOPD	BWPD	SCFD	GOR	API	Pwh (psi)	Temp	ARENA	BOMBEO
GSW-01	21	277	123,93	31.024	112	29,7	205	78ºf	0,44	PCP
GSW-02	21	166	0,04	263.940	1590	27,2	205	78ºf	0,34	PCP
GSW-03	21	153	71	22.950	150	25	205	78ºf	0,34	PCP
GSW-03 ST	21	135	70,64	19.035	141	18,5	205	78ºf	0,78	PCP
GSW-04	21	1007	13,43	149.036	148	26,5	205	78ºf	0,93	PCP
GSW-06	21	413	4,68	92.925	225	26,3	205	78ºf	0,19	PCP

Fuente: Información suministrada por la Compañía Operadora.

Con la información suministrada por el área de producción, en donde se definen cada una de las características y condiciones de las diferentes variables, se procede a introducir en el software de simulación y análisis Hysys V8.4, la información de cada uno de los pozos a analizar y a alinear con el sistema de la válvula. Las variables de mayor interés, fueron, densidad, temperatura, presión en cabeza, °API, GOR, flujo volumétrico, porcentaje o corte de agua y gas disuelto o libre.

Con la anterior información se desarrolló la simulación del sistema, el cual contempla seis (6) pozos productores totalmente especificados, longitudes, diámetros, especificaciones y trazado de las líneas de superficie, desde el cabezal de pozo y hasta el manifold de producción.

En el análisis se tienen puntos específicos de evaluación y control en diferentes variables de producción, como lo son: pérdidas de presión en las líneas de superficie, pérdidas de presión y disipación de energía en los accesorios de conexión de tubería y diferenciales de presión presentados, debido a la incorporación de la válvula de control de dirección de flujo.

También se realizan análisis de las variables de producción, aguas arriba y aguas abajo de la válvula de control, para así poder analizar el sistema con el flujo sumado de todos los pozos alineados a la válvula multipuerto o flujos independientes a la salida de la válvula para el caso de alienación al separador de prueba.

En los análisis y simulaciones desarrolladas se tuvieron presentes las distancias y configuración del trazado de las líneas de superficie de acuerdo a la información obtenida de la isla en donde se enfoca este análisis. Se logra simular el proceso con las distancias aproximadas, cambios de dirección, diámetros y características de los diferentes accesorios que se encuentran instalados en cada una de las líneas, desde la cabeza del pozo y hasta el manifold principal de producción o en su defecto hasta el lugar específico o recomendado, en donde se instalaría o se implementaría la válvula de control multipuerto.

En las siguientes imágenes se podrán observar las diferentes configuraciones y trazados de las líneas de superficie de los seis (6) pozos que se seleccionaron para el análisis y la simulación del sistema.

### **Pozo: GSW-01**

En la siguiente imagen se muestra la configuración de las líneas de tubería con sus respectivas distancias. Las líneas de superficie corresponden al pozo GSW-01, de 3" SCH 40, el material utilizado en estas líneas es acero carbón WCC

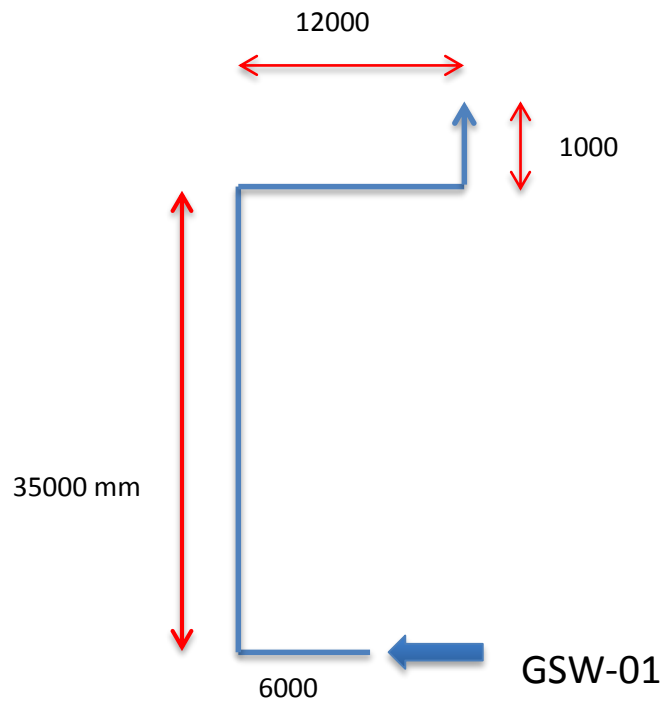
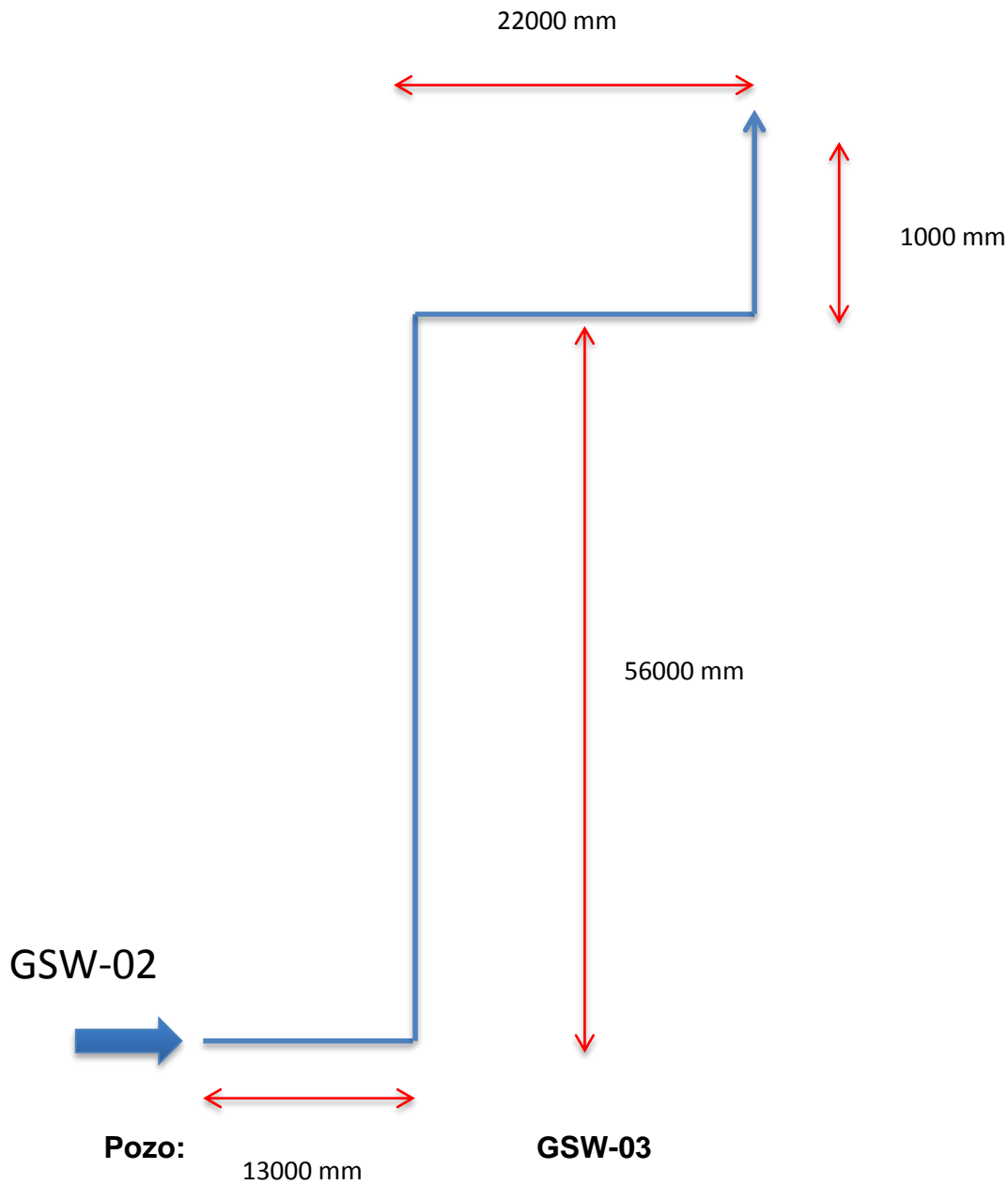


Figura 16 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-01

**Pozo: GSW-02**

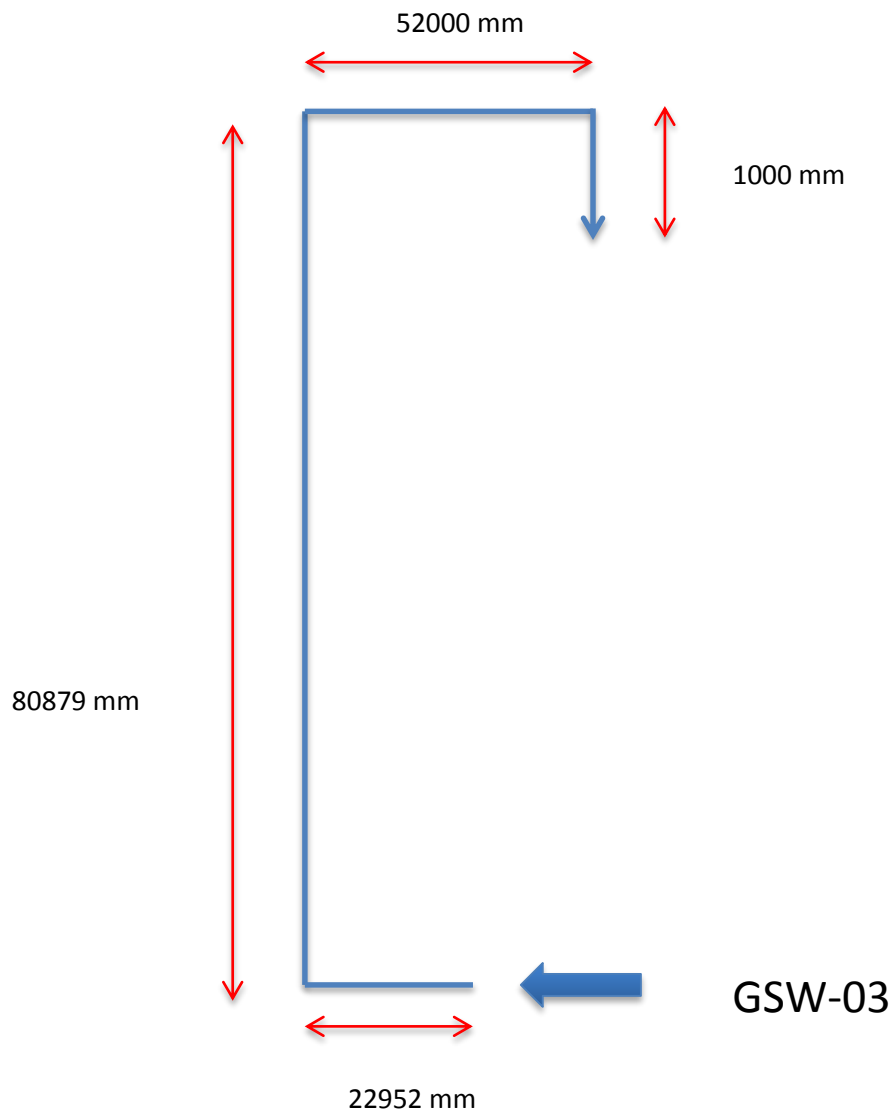
En la siguiente imagen se muestra la configuración de las líneas de tubería con sus respectivas distancias. Las líneas de superficie corresponden al pozo GSW-02, de 3" SCH 40 y el material utilizado en estas líneas es acero carbón WCC.

Figura 17 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-02



En la siguiente imagen se muestra la configuración de las líneas de tubería con sus respectivas distancias. Las líneas de superficie corresponden al pozo GSW-03, de 3" SCH 40 y el material utilizado en estas líneas es acero carbón WCC.

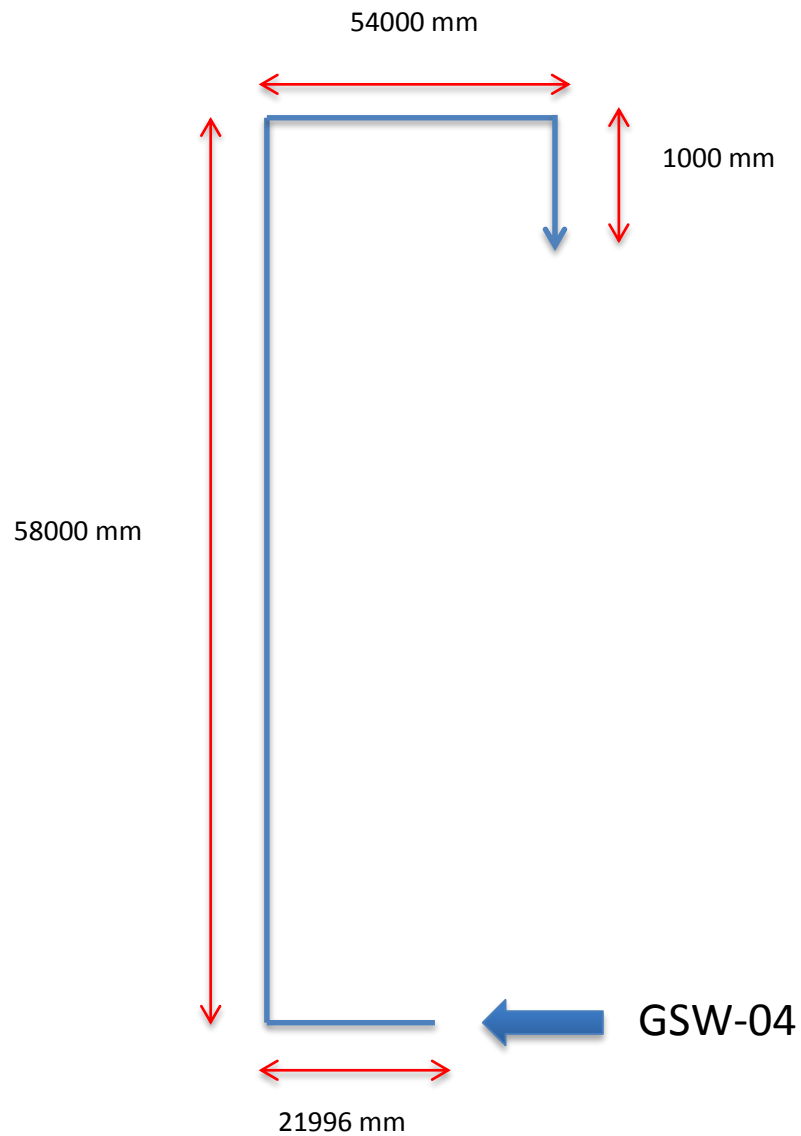
Figura 18 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-03



**Pozo: GSW-04**

En la siguiente imagen se muestra la configuración de las líneas de tubería con sus respectivas distancias. Las líneas de superficie corresponden al pozo GSW-04, de 3" SCH 40 y el material utilizado en estas líneas es acero carbón WCC.

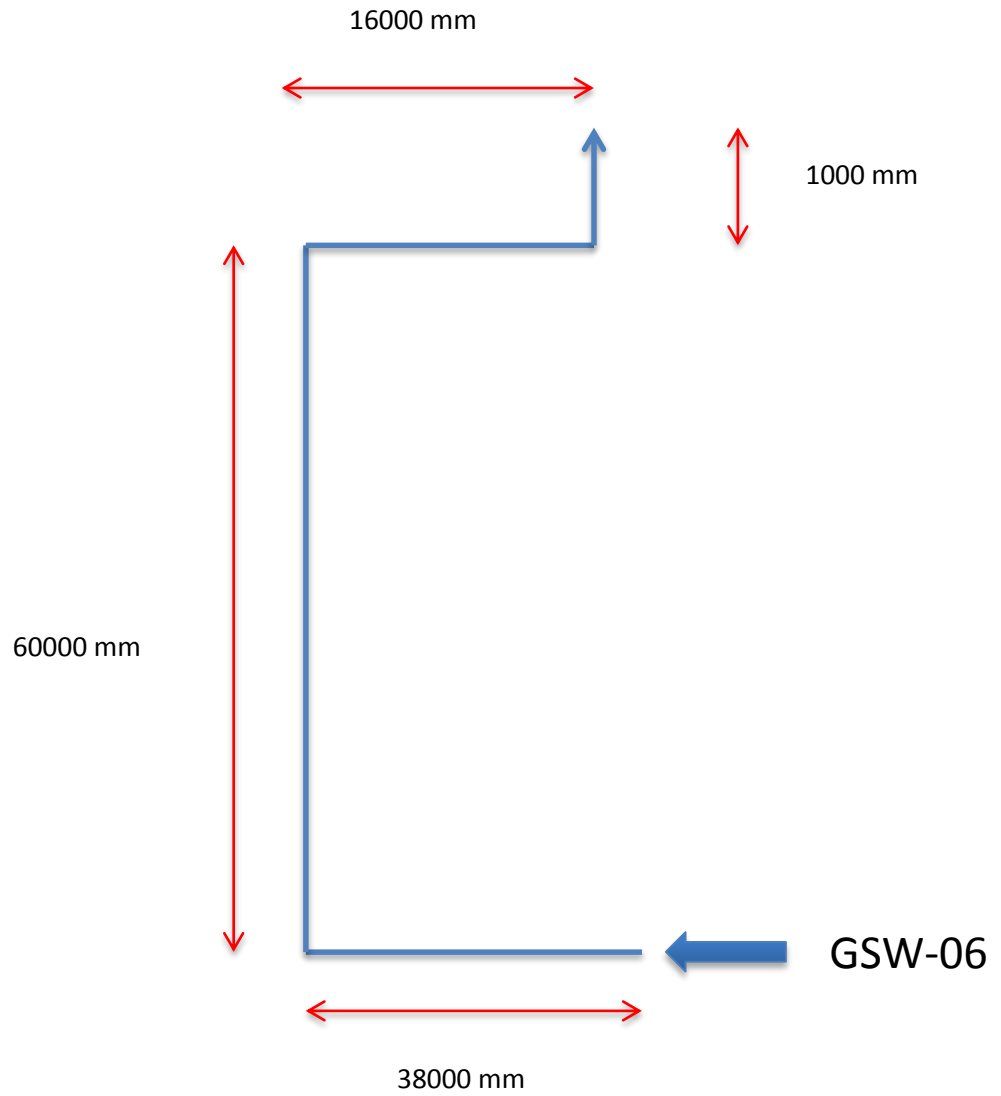
Figura 19 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-04



**Pozo: GSW-06**

En la siguiente imagen se muestra la configuración de las líneas de tubería con sus respectivas distancias. Las líneas de superficie corresponden al pozo GSW-06, de 3" SCH 40 y el material utilizado en estas líneas es acero carbón WCC.

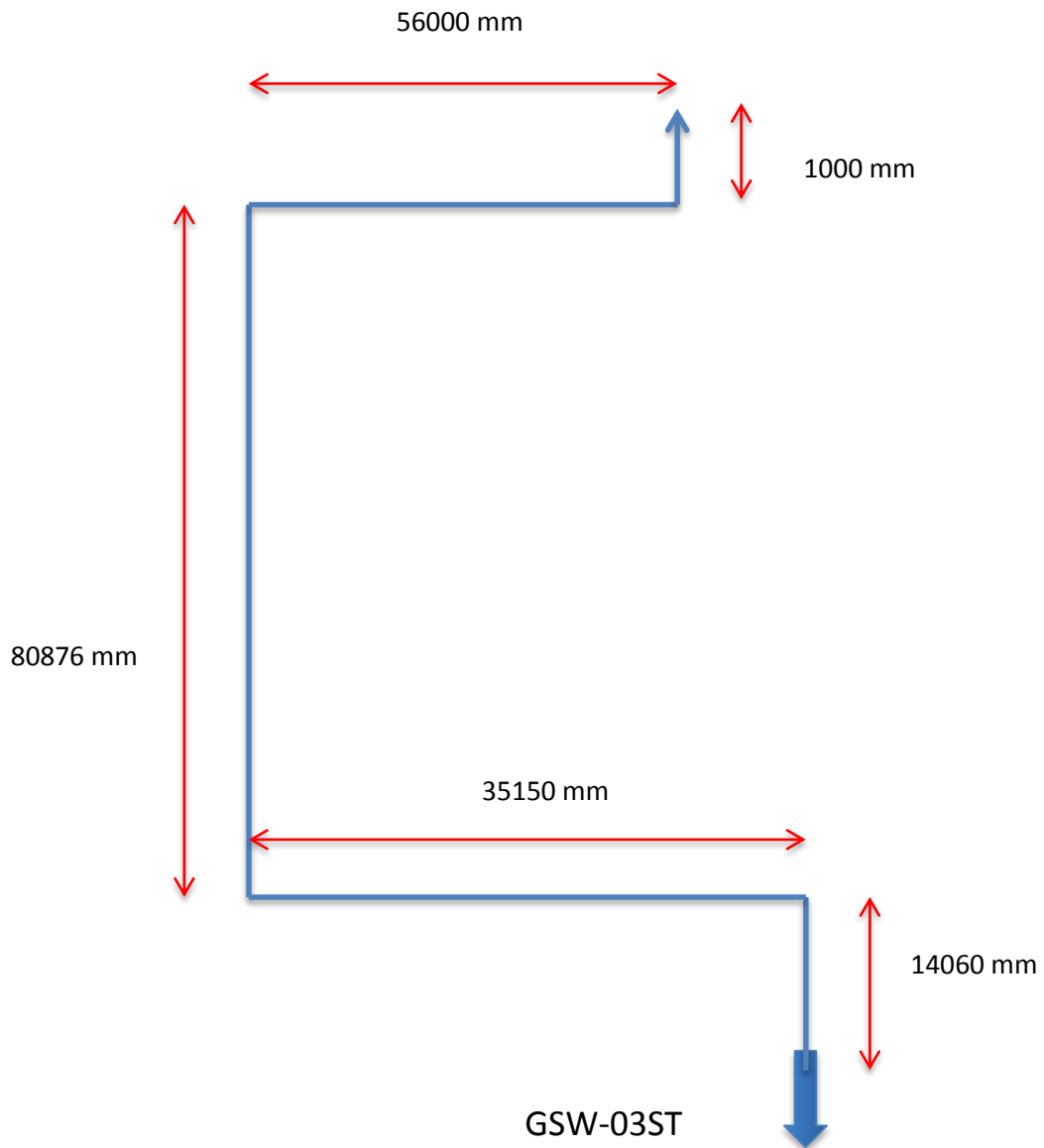
Figura 20 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-06



### GSW-03ST

En la siguiente imagen se muestra la configuración de las líneas de tubería con sus respectivas distancias. Las líneas de superficie correspondiente al pozo GSW-03ST son de 3" SCH 40 y el material utilizado en estas líneas es acero carbón WCC

Figura 21 Esquema o topología de trazado de las líneas de superficie del pozo GSW-03T



## 2.2 ESQUEMAS DE OPERACIÓN, MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO

En esta simulación y gracias a los algoritmos matemáticos que contiene el Software Hysys V 8.4, se pueden visualizar y simular las diferentes variables que se ven involucradas en la operación de superficie desde los cabezales de pozo hasta las facilidades de producción.

Con la simulación realizada en este software especializado, se puede observar cómo van variando cada una de las variables involucradas en el sistema, a lo largo de la configuración de las líneas de flujo, de sus accesorios y de la aproximación operacional de la válvula Multipuerto.

Las variables a analizar las cuales son críticas en la operación y optimización de la producción de un campo son: Flujo o caudal en las líneas de superficie, presión en cabeza, pérdidas de presión en las líneas de tubería y en los accesorios de conexión, disipación térmica, diferenciales de presión en la válvula de control de dirección de flujo tipo Multipuerto y la presión en el separador entre otras.

A continuación se van a evaluar y modelar las características funcionales de la válvula de control de dirección de flujo tipo Multipuerto. Las especificaciones de esta válvula, fueron suministradas directamente por el fabricante Bettis – Emerson para el desarrollo de esta evaluación y trabajo de grado.

En una válvula y en especial en una válvula de control, las variable más importante a analizar son el coeficiente de flujo (CV), el cual involucra especificaciones puntuales del fluido, presiones operativas del sistema de producción y el caudal a manejar.

Físicamente o mecánicamente en una válvula, el interior de esta o el sistema obturador (TRIM) es el que determina el comportamiento o el tipo de operación que esta va a realizar en el sistema.

Para una válvula de comportamiento exclusivo de cierre u On-Off, esta tendrá un TRIM con un diseño básico con el que solo se contempla un nivel de estanqueidad o de cero fuga muy alto, es decir que sea totalmente sellada o “Cero Fugas” de acuerdo a la norma API 6D.

Los TRIM o internos de una válvula de control, como se indico en un capítulo anterior de este documento, tienen tres grupos los cuales determinan el comportamiento de la válvula con las variables de presión, recorrido mecánico de la válvula y el caudal máximo o mínimo a manejar.

Para el caso de la válvula de control de dirección de flujo, la controlabilidad de este sistema se desarrollo principalmente en el actuador inteligente, el cual posiciona el sistema interno para una selección especial de una de las líneas o para una operación de suma continua de todas las corrientes de flujo.

Todo elemento que se integre en una corriente de flujo o en una línea, generará un comportamiento específico o una restricción en el paso del fluido.

Para la válvula Multipuerto se puede representar por medio de dos coeficientes de flujo (CV), los cuales determinan las condiciones operativas del sistema para dos escenarios puntuales.

Cuando la válvula se encuentra en operación, se suman todas las corrientes alineadas o cuando se presenta alguna selección de un pozo hacia el separador de prueba, se selecciona una sola corriente, manteniendo las otras corrientes en modo de combinación o suma.

A continuación se encuentran la especificaciones del TRIM de la válvula, de acuerdo al rating, el cual puede ser ANSI 300 o ANSI 600. La selección del rating, se determina por la presión y por la temperatura del proceso:

Figura 22 Características técnicas del TRIM de la Válvula Multipuerto.

## II VALVE SPECIFICATIONS

TRIM	RATING		SIZE	ANSI 300RF CONNECTION			WEIGHT
	MAXIMUM WORKING PRESSURE PSIG	WORKING TEMP °C		EIGHT FLOWLINE INLET PORTS	ONE TEST OUTLET PORT	ONE GROUP OUTLET PORT	
STD.	740	38	4x8	NPS 4	NPS 4	NPS 8	1275
HIGH TEMP	600	260					

TRIM	RATING		SIZE	ANSI 600RF CONNECTION			WEIGHT
	MAXIMUM WORKING PRESSURE PSIG	WORKING TEMP °C		EIGHT FLOWLINE INLET PORTS	ONE TEST OUTLET PORT	ONE GROUP OUTLET PORT	
STD.	1480	38	4x8	NPS 4	NPS 4	NPS 8	1375
HIGH TEMP	600	260					

Cv = 270 FOR TEST OUTLET FLOW

Cv = 660 FOR GROUP OUTLET FLOW

Fuente: Service Manual en línea No I-160 en línea<sup>17</sup>

Como se puede observar, se cuentan con dos coeficientes de flujo diferentes, el CV= 270 corresponde a la operación de la válvula con la selección de una de las líneas hacia el separador de prueba y el CV = 660, corresponde a la operación de la válvula, en donde se suman todas las corrientes o flujos de los pozos alineados a la válvula.

<sup>17</sup>

[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Service\\_Manuals/I-0160-.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Service_Manuals/I-0160-.pdf)

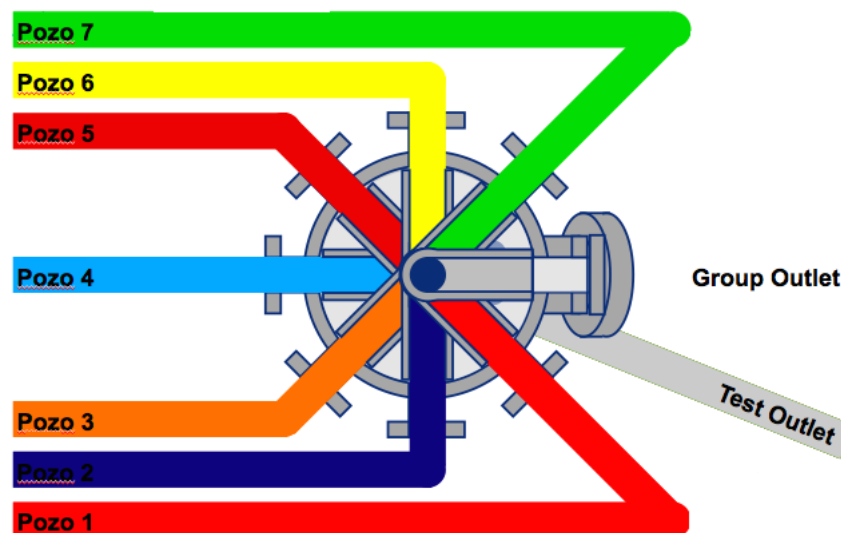
## 2.3 MODOS DE OPERACIÓN DE LA VÁLVULA MULTIPUERTO

La operación de la válvula se puede ejemplificar mas fácilmente con las siguientes imágenes, en donde se muestran los dos modos de operación.

En la siguiente imagen se puede ejemplificar el modo de operación de suma de todos los pozos o corrientes alineadas, como se puede observar el selector de la válvula se encuentra totalmente alineado a la salida de la válvula, diámetro mayor, en este modo de operación se tienen todas las corrientes de flujo sumadas en el interior de la válvula y alineados al puerto de salida.

La restricción que genera la válvula en este modo de operación, de acuerdo al fabricante se representa por medio del coeficiente de flujo (CV), que para este modo de operación es de seis cientos sesenta (660).

Figura 23 Funcionamiento interno de la válvula en modo de operación de suma.



Fuente: Brochure en línea<sup>18</sup>

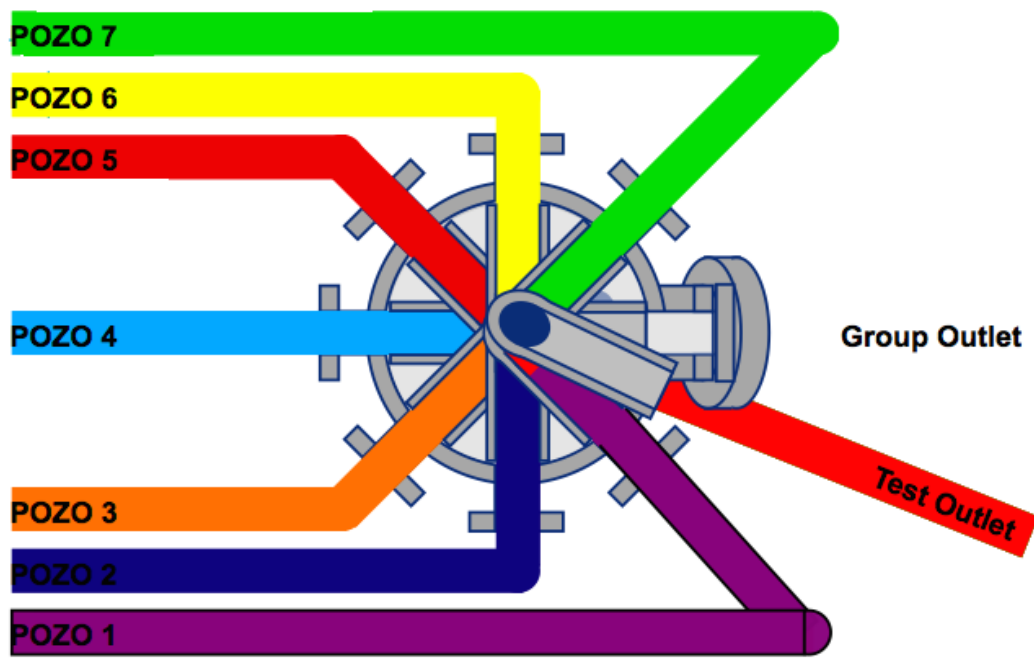
<sup>18</sup>

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis.pdf>

Para el modo de operación de la válvula de control de dirección de flujo en modo de alineación de uno de una de las corrientes hacia el separador de prueba, se muestra en la siguiente imagen, en la cual se ilustra para este caso la selección o alineación del pozo número cinco (5), el cual esta siendo direccionado hacia el separador de prueba o hacia un proceso especial, según sea el caso.

Para esta condición, la válvula presenta un  $CV= 270$ , únicamente para esta línea de selección, para el restante de la válvula, el coeficiente de flujo se mantendrá en  $CV= 660$ , como se comento anteriormente.

Figura 24 Funcionamiento interno de la válvula en modo de selección de un pozo para separador de prueba, en este caso la selección es el pozo No 5.



Fuente: Brochure en línea<sup>19</sup>

<sup>19</sup>

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis.pdf>

En este modo de operación, el flujo que se seleccionada para analizar es exclusivamente el de la corriente o del pozo seleccionado. Gracias a los sellos y al diseño interno de la válvula, las corrientes de los demás pozos no se mezclarán, así se puede garantizar efectivamente que se esta analizando solo la corriente de fluido seleccionado, sin que se estén afectando las características o su composición química por otra corriente.

## **2.4 MODELACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO EN EL SOFTWARE ESPECIALIZADO HYSYS V8.4**

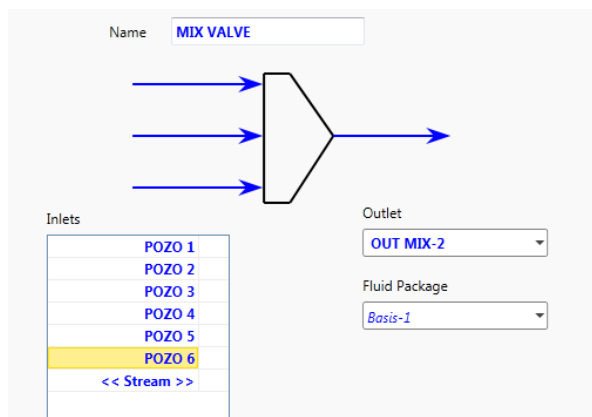
Para el modelamiento de la válvula de control en el software especializado, se requirió buscar un elemento de simulación que pudiera simular en primer lugar una restricción determinada en el flujo, en donde se pudiera caracterizar con el correspondiente comportamiento o coeficiente de flujo, para cada uno de los modos de operación, tal como se mostro en la sección anterior.

Otro aspecto muy importante en el modelamiento de la válvula, fue un elemento que permitiera la mezcla o suma de diferentes corrientes y flujos. Para este requisito, se seleccionó un mezclador de múltiples entradas, correspondiente a los pozos alineados y con solo una salida en que la que se tuviera todo el flujo sumado.

El comportamiento completo de la válvula, se logra simular con la unión en serie o en línea del mezclador y la válvula de control.

**2.4.1 Modelación y caracterización del mezclador:** En la paleta de accesorios del panel principal, se seleccionó el mezclador indicado, este elemento no tiene caracterización alguna, es un elemento que cumple la función lógica de suma o de mezcla de las diferentes corrientes o flujos a los que se les acople a sus entrada.

Figura 25 Imagen correspondiente a la pantalla de configuración del elemento mezclador del Software HYSYS V8.4

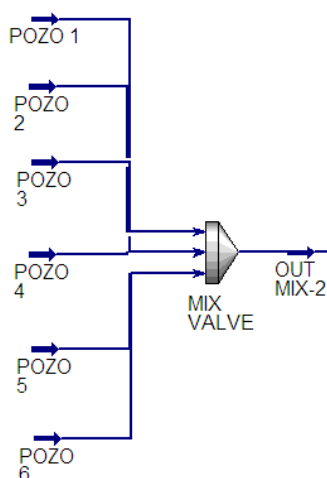


Fuente: Pantalla de configuración elemento en el Software Especializado HYSYS V8.4

Para el caso de la simulación, se alinearon seis (6) corrientes o pozos con flujo de gas, crudo y agua con sus correspondientes características. A la salida del mezclador se encuentran los flujos sumados, resultando en una sola corriente o flujo, la cual tiene la característica de la mezcla de las seis (6) entradas alineadas.

En la siguiente imagen se puede observar el sumador con la alineación de seis (6) pozos productores

Figura 26 Imagen pozos alineados al sumador o mezclador, software especializado HYSYS V8.4



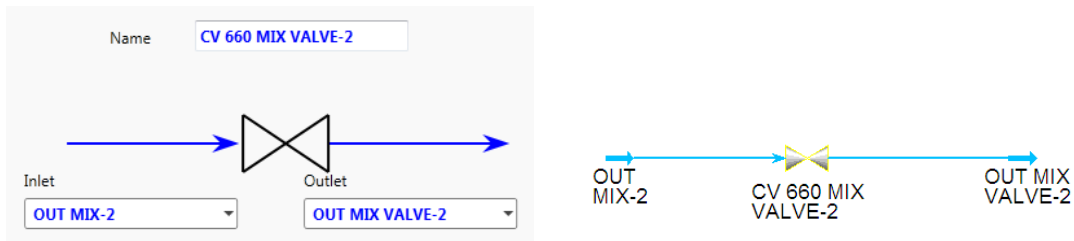
Fuente: Pantalla de simulación Software Especializado HYSYS V8.4

Cada uno de los pozos o corrientes de flujo alineadas al sumador, están especificadas de acuerdo a las condiciones y características de cada uno de los pozos, configurados de acuerdo a la información suministrada por el área de producción del campo.

**2.4.2 Caracterización y simulación de la válvula multipuerto en el software especializado HYSYS V8.4:** Para la simulación de caracterización de la válvula, se seleccionó del panel de opciones el elemento válvula de control, el cual permite configurar de una manera correcta el coeficiente y un adecuado modelamiento del manejo del flujo y de pérdidas o caídas de presión.

A continuación se muestra, el esquema de la válvula de control:

Figura 27 Esquema de la válvula de control, software especializado HYSYS V8.4



Fuente: Pantalla de configuración y pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

De acuerdo al fabricante de la válvula el CV o coeficiente de flujo es igual al valor 660, este valor es adimensional y corresponde al modelamiento matemático del comportamiento de la válvula.

En la pantalla de simulación, se puede configurar el valor de CV y la caracterización de comportamiento de la válvula. Para esta caso se selecciona el comportamiento isoporcentual o de igual porcentaje, para así poder tener un comportamiento de flujo mas controlable.

Las otras variables que se encuentran para configuración, corresponden a valores de cálculo interno del Software, estos cálculos el programa los realiza al ingresar el CV, las presiones de entrada y el comportamiento final de la válvula.

También en estas pantallas de configuración se pueden seleccionar materiales, rugosidad y coeficientes de turbulencia. En las siguientes imagen se pueden observar las pantallas de configuración:

Figura 28 Imágenes de pantalla de configuración de la válvula de control

The screenshot shows the configuration interface for a valve. It is divided into several sections:

- Valve Manufacturers:** A dropdown menu showing 'FISHER'.
- Sizing Conditions:** Radio buttons for 'Current' (selected) and 'User Input'. Below are input fields for 'Inlet Pressure [psia]', 'Molecular Weight', 'Valve Opening [%]' (set to 50.00), 'Delta P [psi]', and 'Flow Rate [lb/hr]'.
- Valve Operating Characteristics:** Radio buttons for 'Linear', 'Quick Opening', 'Equal Percentage' (selected), and 'User Table'. A 'Size Valve' button is located below.
- Sizing Methods:** Radio buttons for 'Cv' (selected) and 'Cg'. Below are radio buttons for 'Fisher Universal (Old HYSYS Method)' (selected) and 'ANSI/ISA'. A table of parameters is shown below:

C1	25,0
Km	0,9000
Cv [USGPM(60F,1psi)]	660,0
Cg	16500

The screenshot shows the 'Pipe Model Parameters' dialog box. It contains a table of parameters and a checkbox for 'Disable Valve (Pipe Only)'. A warning message is displayed at the bottom.

Friction Factor Equation	Assume Complete Turbulence (f is fix)
Material	Cast Iron
Roughness [ft]	0,00084974
Pipe Length [ft]	0,0000
Feed Diameter [ft]	8,000
Darcy Friction Factor	<empty>
Pipe k [lb/hr/sqrt(psia-lb/ft3)]	0,0000
Velocity [ft/s]	<empty>
Reynolds Number	<empty>

Disable Valve (Pipe Only)

Warning: Values for vapor-liquid may not be rigorous

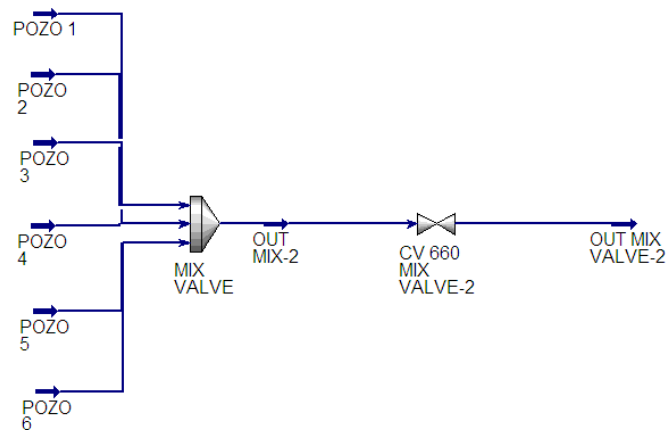
Fuente: Pantalla de configuración elemento en el Software Especializado HYSYS V8.4

Con las anteriores funciones, se logra modelar de una manera aproximada el comportamiento dinámico de la válvula, se tiene la facilidad de poder caracterizar y ajustar el CV, lo que genera precisión en los resultados que se obtienen.

**2.4.3 Ensamble final y simulación de la válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto:** El ensamble final de la válvula de control de dirección de flujo, corresponde a la integración del mezclador de flujo más la válvula de control con la correspondiente caracterización.

En la siguiente imagen se puede observar la integración del sumador con la válvula de control, también se muestra la alineación de los pozos productores:

Figura 29 Esquema final de la modelación de la Válvula Multipuerto



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

Con esta modelación integral, ya se puede modelar la operación de la válvula de control de dirección de flujo, en los casos en donde se requiera verificar la operación al implementar esta válvula en un sistema de producción tradicional.

Se pueden analizar variables tales como, caída de presión, caudal o flujo, disipación térmica y mezcla de los fluidos junto con sus correspondientes composiciones físico químicas y comportamientos de controlabilidad en el fluido

## **2.5 SIMULACIÓN VÁLVULA DE CONTROL DE DIRECCIÓN DE FLUJO TIPO MULTIPUERTO, CON SEIS (6) POZOS PRODUCTORES ALINEADOS**

Al tener modelado el conjunto operacional que compone a la válvula de control, se procede a simular por medio del Software especializado HYSYS V8.4, el funcionamiento de la alineación de seis (6) pozos, anteriormente descritos y caracterizados en el programa.

En el software se procede a modelar tanto las especificaciones de la válvula de control, como las especificaciones de las líneas de tubería, longitudes, diámetros, accesorios de conexión y válvulas de corte que se requieren en el sistema, para desarrollar la simulación lo mas cercano posible a la realidad.

Lo primero que se procede a alimentar en el sistema, es la información del cada uno de los pozos, generar cada una de las corrientes con sus correspondientes composiciones y correlaciones. Por ejemplo las corrientes de aceite o crudo, se alimentaron por medio del Assay que se logro obtener, teniendo una gran cercanía a las características actuales de este fluido.

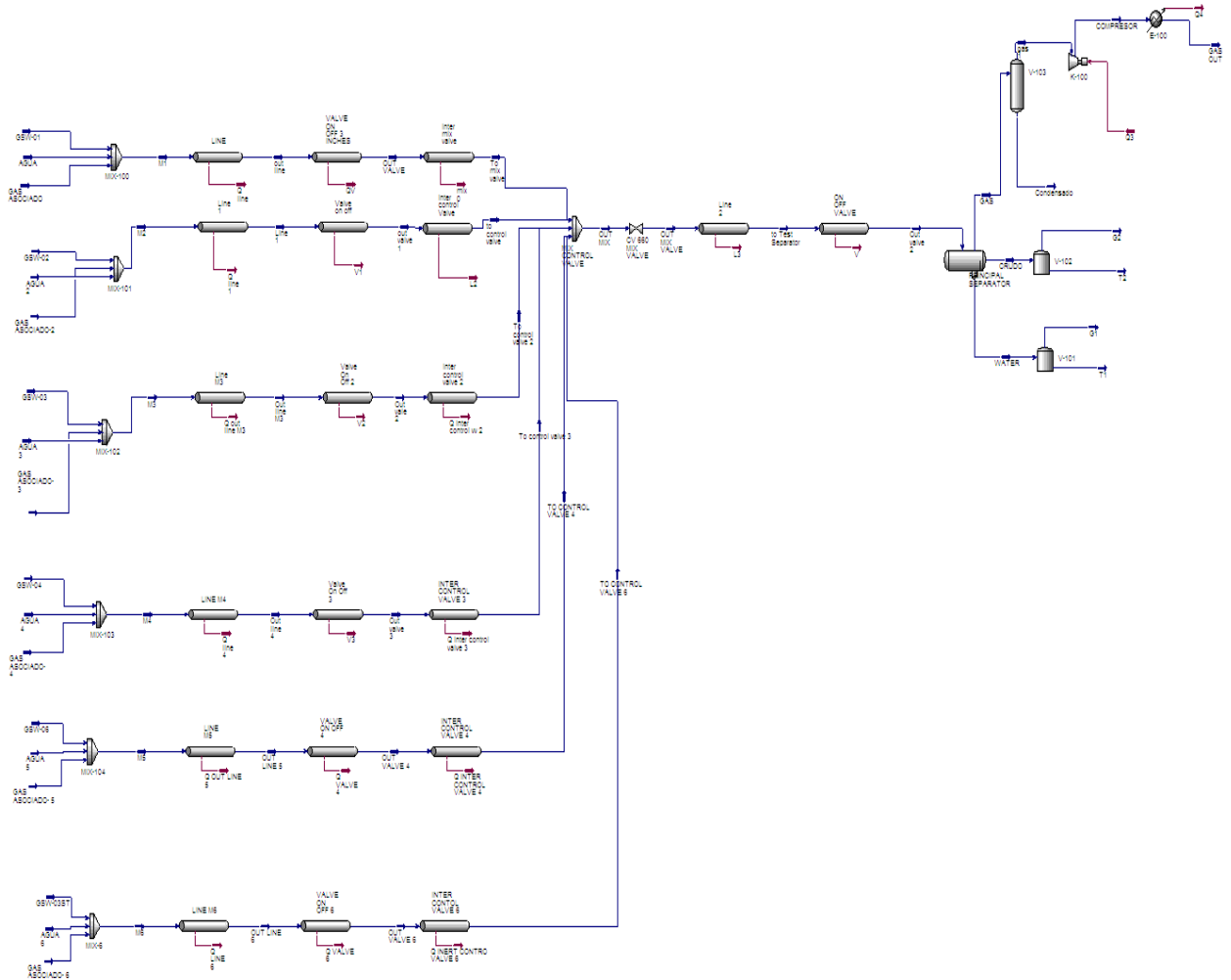
De la misma manera y gracias a contar con la cromatografía del gas asociado, se logra introducir información lo mas cercana a las condiciones actuales del fluido.

En el caso de la corriente del agua, esta se cálculo de manera inversa, ya que se tenia el corte de agua del flujo total de cada uno de los pozos productores.

La primera simulación que se realiza es la de la alineación de la válvula Multipuerto con seis (6) pozos productores en modo de suma de todas las corrientes.

En la siguiente imagen se puede observar como seria esquemáticamente esta configuración:

Figura 30 Esquema de simulación Válvula Multipuerto en operación con todos los pozos alineados a separador principal



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen, se puede observar la modelación del sistema de producción desde la cabeza de los pozos y hasta el separador de producción principal.

Como se había comentado anteriormente, esta simulación incorpora la topología y especificaciones de las diferentes líneas de superficie. Se tuvieron presentes lo diámetros de tubería, cambios de dirección, accesorios de conexión, válvulas de corte tipo bola de un cuarto de vuelta y de paso completo. También se tuvo muy

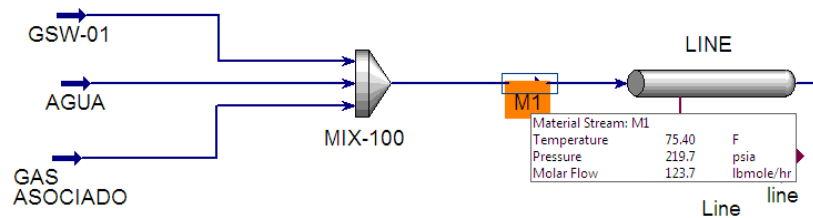
presente el material y el grosor de las paredes tanto de las tuberías como de los accesorios de conexión y de las válvulas de corte.

En las siguientes imágenes se mostrarán los resultados de la simulación, en diferentes puntos de interés y análisis del proceso de producción, para así poder visualizar resultados.

El primer punto de análisis, va a ser a la salida de cada una de las corrientes o en cabeza de pozo, esto con el objetivo de poder visualizar las especificación y características de cada uno de los fluidos de los pozos.

- **POZO GSW-01**

Figura 31 Corriente total de salida M1, correspondiente al pozo GSW-01



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar el punto de medida M1, el cual corresponde a la corriente total del pozo GSW-01, en donde se tiene la mezcla de crudo, agua y gas asociado. En las siguientes imágenes se podrán observar características de las diferentes variables de producción más relevantes relacionadas en este punto.

Figura 32 Visualización de variables de producción pozo GSW-01

Material Stream: M1				
Worksheet Attachments Dynamics				
Worksheet	Stream Name	M1	Aqueous Phase	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	0,8108	0,1892
Properties	Temperature [F]	75,40	75,40	75,40
Composition	Pressure [psia]	219,7	219,7	219,7
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	123,7	100,3	23,41
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	5413	1807	3606
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	402,4	124,0	278,4
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,270e+005	-1,231e+005	-1,439e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	12,98	12,77	13,89
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,572e+007	-1,235e+007	-3,369e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	375,2	121,9	277,9
	Fluid Package	Basis-1		
	Utility Type			

Input Composition for Stream: Material Stream: M1	
	CompMoleFlow
Nitrogen	0,0338
CO2	0,2803
Methane	2,2234
Ethane	0,1651
Propane	0,1791
i-Butane	0,0456
n-Butane	0,0798
i-Pentane	0,0279
n-Pentane	0,0205
n-Hexane	0,0189
n-Heptane	0,0168
n-Octane	0,0087
n-Nonane	0,0037
n-Decane	0,0003
H2O	913,6298
NBP[0]-44*	2,1341
NBP[0]-30*	2,2564
NBP[0]-16*	2,3763
NBP[0]-2*	2,3734

Normalize Total 1126,7434 MSCFD

Fuente: Pantalla de resultados de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

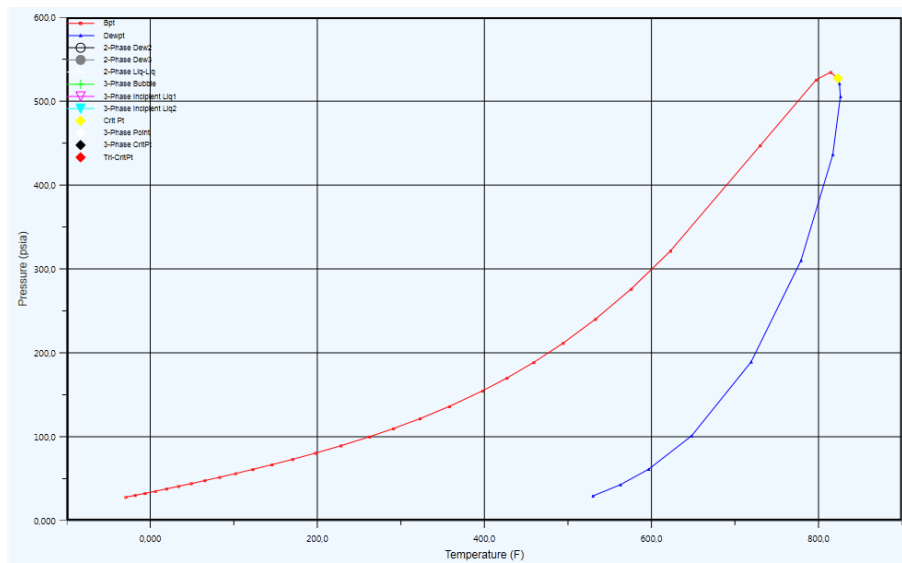
Como se puede observar, las variables de producción que se relacionan en la anterior imagen para el pozo GSW-01 son:

1. Flujo de liquido: 375,2 Barriles/día
2. Temperatura: 75,40 °F
3. Presión de línea: 219,7 psia

#### 4. Flujo de Gas: 1126,74 MSCFD

Para tener una mejor interpretación de las características del fluido en este punto, a continuación se encuentra la imagen del diagrama PT o envolvente de fase representativa a este fluido del pozo GSW-01

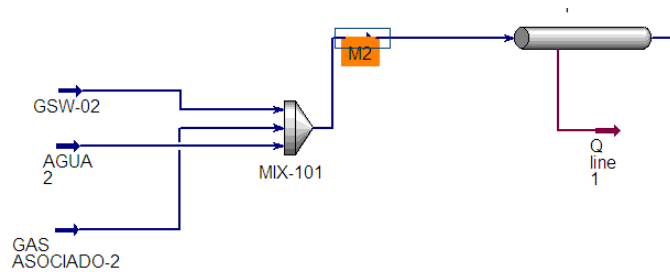
Figura 33 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M1 del pozo GSW-01



Fuente: Pantalla de visualización gráfica en el Software Especializado HYSYS V8.4

- **POZO GSW-02**

Figura 34 Corriente total de salida M2, correspondiente al pozo GSW-02



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar el punto de medida M2, el cual corresponde a la corriente total del pozo GSW-02, en donde se tiene la mezcla de crudo, agua y gas asociado. En las siguientes imágenes se podrán observar características de las diferentes variables de producción más relevantes relacionadas en este punto.

Figura 35 Visualización de variables de producción pozo GSW-02

Material Stream: M2						
Worksheet Attachments Dynamics						
Worksheet	Stream Name	M2	Vapour Phase	Aqueous Phase	Liquid Phase	
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,2207	0,2207	0,6642	0,1151	
Properties	Temperature [F]	118,4	118,4	118,4	118,4	
Composition	Pressure [psia]	224,7	224,7	224,7	224,7	
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	346,0	76,36	229,8	39,84	
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1,140e+004	1719	4142	5537	
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1030	302,3	284,3	443,4	
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,064e+005	-4,606e+004	-1,223e+005	-1,308e+005	
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	20,70	39,60	14,21	21,89	
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-3,683e+007	-3,517e+006	-2,810e+007	-5,210e+006	
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	938,1	1,231e+005	279,5	436,6	
	Fluid Package	Basis-1				
	Utility Type					

Fuente: Pantalla de resultados de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Input Composition for Stream: Material Stream: M2

	CompMoleFlow
Nitrogen	8,1750
CO2	67,7250
Methane	537,2250
Ethane	39,9000
Propane	43,2750
i-Butane	11,0250
n-Butane	19,2750
i-Pentane	6,7500
n-Pentane	4,9500
n-Hexane	4,5750
n-Heptane	4,0500
n-Octane	2,1000
n-Nonane	0,9000
n-Decane	0,0750
H2O	2097,8077
NBP[0]-44*	3,0818
NBP[0]-30*	3,2583
NBP[0]-16*	3,4315
NBP[0]-2*	3,4272
NBP[0]12*	3,3882

Normalize Total 3151,0706 MSCFD

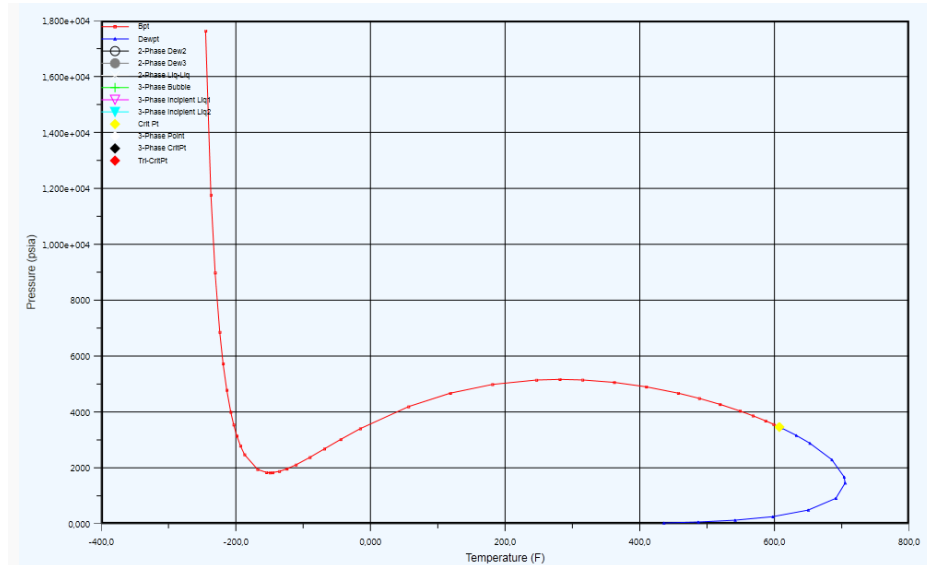
Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Como se puede observar, las variables de producción que se relacionan en la anterior imagen para el pozo GSW-02 son:

1. Flujo de liquido: 938,1 Barriles/día
2. Temperatura: 118,40 °F
3. Presión de línea: 224,7 psia
4. Flujo de Gas: 3151,07 MSCFD

Para tener una mejor interpretación de las características del fluido en este punto, a continuación se encuentra la imagen del diagrama PT o envolvente de fase representativa a este fluido del pozo GSW-02

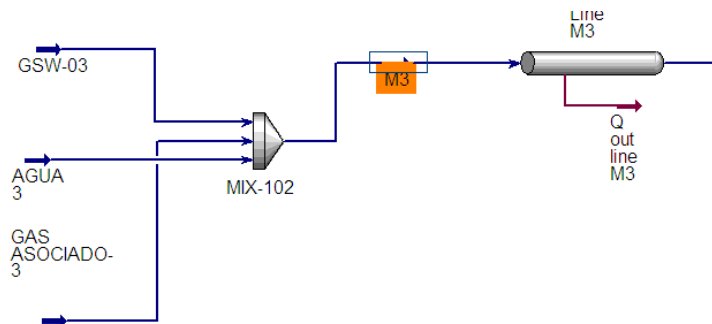
Figura 36 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M2 del pozo GSW-02



Fuente: Pantalla de visualización gráfica en el Software Especializado HYSYS V8.4

- **POZO GSW-03**

Figura 37 Corriente total de salida M3, correspondiente al pozo GSW-03



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar el punto de medida M3, el cual corresponde a la corriente total del pozo GSW-03, en donde se tiene la mezcla de crudo, agua y gas asociado. En las siguientes imágenes se podrán observar

características de las diferentes variables de producción más relevantes relacionadas en este punto.

Figura 38 Visualización de variables de producción pozo GSW-03

Worksheet		Stream Name	M3	Vapour Phase	Aqueous Phase
Conditions		Vapour / Phase Fraction	0,0953	0,0953	0,7756
Properties		Temperature [F]	118,3	118,3	118,3
Composition		Pressure [psia]	314,7	314,7	314,7
Oil & Gas Feed		Molar Flow [lbmole/hr]	190,9	18,19	148,0
Petroleum Assay		Mass Flow [lb/hr]	6462	387,3	2669
K Value		Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	525,1	70,38	183,1
User Variables		Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,159e+005	-4,454e+004	-1,223e+005
Notes		Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	17,46	38,66	14,21
Cost Parameters		Heat Flow [Btu/hr]	-2,213e+007	-8,101e+005	-1,810e+007
Normalized Yields		Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	481,8	2,934e+004	180,0
		Fluid Package	Basis-1		
		Utility Type			

Component	CompMoleFlow
Nitrogen	2,1800
CO2	18,0600
Methane	143,2600
Ethane	10,6400
Propane	11,5400
i-Butane	2,9400
n-Butane	5,1400
i-Pentane	1,8000
n-Pentane	1,3200
n-Hexane	1,2200
n-Heptane	1,0800
n-Octane	0,5600
n-Nonane	0,2400
n-Decane	0,0200
H2O	1348,5907
NBP[0]-44*	1,9261
NBP[0]-30*	2,0364
NBP[0]-16*	2,1447
NBP[0]-2*	2,1420
NBP[0]12*	2,1176

Normalize Total 1738,1300 MSCFD

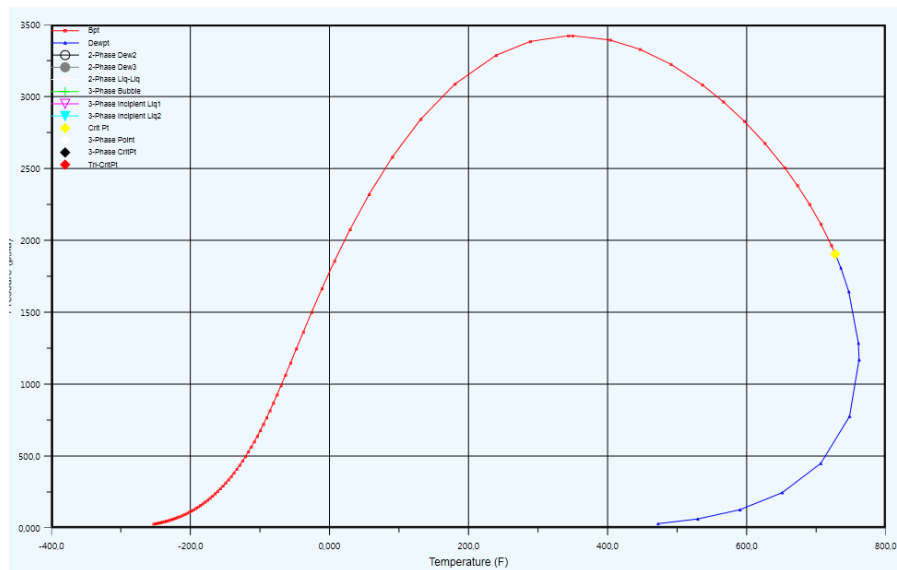
Fuente: Pantalla de resultados de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Como se puede observar, las variables de producción que se relacionan en la anterior imagen para el pozo GSW-03 son:

1. Flujo de liquido: 481,8 Barriles/día
2. Temperatura: 118,3 °F
3. Presión de línea: 314,7 psia
4. Flujo de Gas: 1738,07 MSCFD

Para tener una mejor interpretación de las características del fluido en este punto, a continuación se encuentra la imagen del diagrama PT o envolvente de fase representativa a este fluido del pozo GSW-03

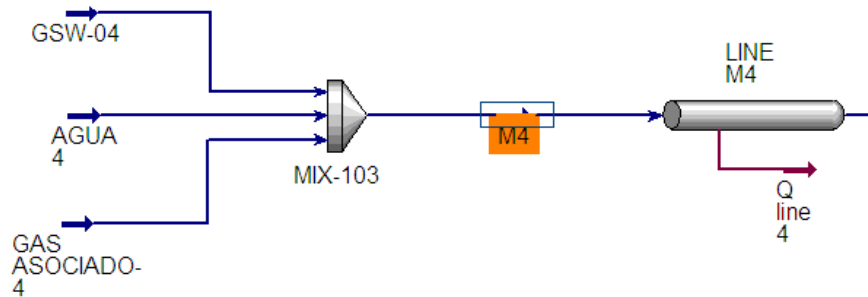
Figura 39 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M3 del pozo GSW-03



Fuente: Pantalla de visualización gráfica en el Software Especializado HYSYS V8.4

- **POZO GSW-04**

Figura 40 Corriente total de salida M4, correspondiente al pozo GSW-04



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar el punto de medida M4, el cual corresponde a la corriente total del pozo GSW-04, en donde se tiene la mezcla de crudo, agua y gas asociado.

En las siguientes imágenes se podrán observar características de las diferentes variables de producción más relevantes relacionadas en este punto.

Figura 41 Visualización de variables de producción pozo GSW-04

Material Stream: M4					
Worksheet Attachments Dynamics					
Worksheet	Stream Name	M4	Vapour Phase	Aqueous Phase	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0749	0,0749	0,7940	0,1311
Properties	Temperature [F]	118,3	118,3	118,3	118,3
Composition	Pressure [psia]	374,7	374,7	374,7	374,7
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	227,9	17,07	181,0	29,88
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	7704	355,7	3263	4086
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	615,8	65,57	223,9	326,3
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,174e+005	-4,380e+004	-1,223e+005	-1,295e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	16,95	38,24	14,21	21,39
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-2,675e+007	-7,475e+005	-2,213e+007	-3,870e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	566,1	2,754e+004	220,1	320,0
	Fluid Package	Basis-1			
	Utility Type				

Input Composition for Stream: Material Stream: M4

	CompMoleFlow
Nitrogen	2,1800
CO2	18,0600
Methane	143,2600
Ethane	10,6400
Propane	11,5400
i-Butane	2,9400
n-Butane	5,1400
i-Pentane	1,8000
n-Pentane	1,3200
n-Hexane	1,2200
n-Heptane	1,0800
n-Octane	0,5600
n-Nonane	0,2400
n-Decane	0,0200
H2O	1648,2775
NBP[0]-44*	2,3114
NBP[0]-30*	2,4437
NBP[0]-16*	2,5736
NBP[0]-2*	2,5704
NBP[0]12*	2,5411

Normalize Total 2075,7247 MSCFD

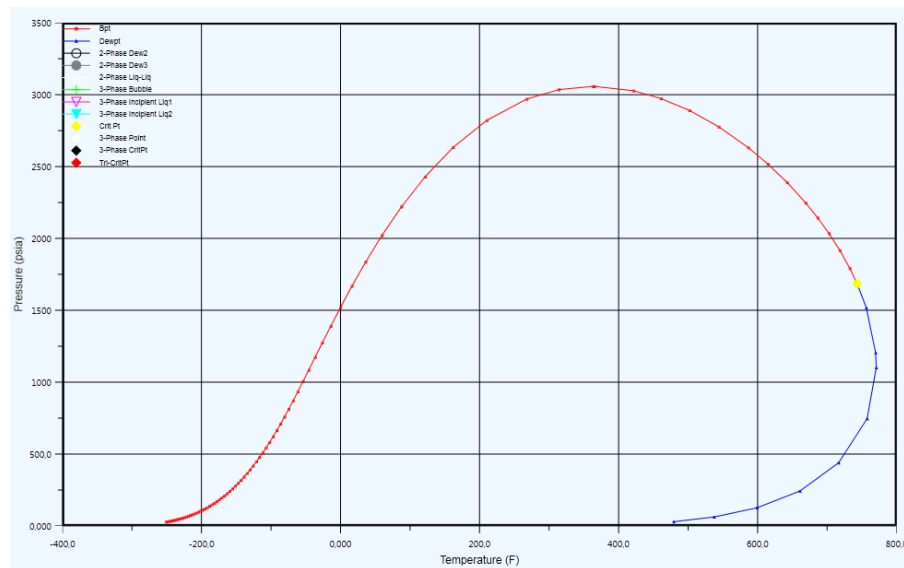
Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Como se puede observar, las variables de producción que se relacionan en la anterior imagen para el pozo GSW-03 son:

1. Flujo de liquido: 566,1 Barriles/día
2. Temperatura: 118,3 °F
3. Presión de línea: 374,7 psia
4. Flujo de Gas: 2075,72 MSCFD

Para tener una mejor interpretación de las características del fluido en este punto, a continuación se encuentra la imagen del diagrama PT o envolvente de fase representativa a este fluido del pozo GSW-03

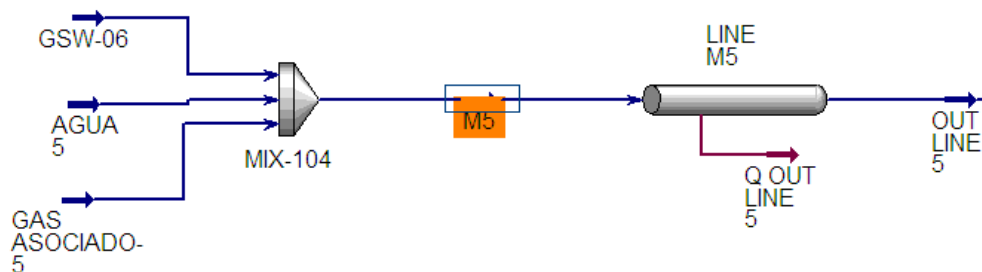
Figura 42 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M4 del pozo GSW-04



Fuente: Pantalla de visualización gráfica en el Software Especializado HYSYS V8.4

- **POZO GSW-06**

Figura 43 Corriente total de salida M5, correspondiente al pozo GSW-06



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar el punto de medida M5, el cual corresponde a la corriente total del pozo GSW-06, en donde se tiene la mezcla de crudo, agua y gas asociado.

En las siguientes imágenes se podrán observar características de las diferentes variables de producción más relevantes relacionadas en este punto.

Figura 44 Visualización de variables de producción pozo GSW-06

Material Stream: M5

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	M5	Vapour Phase	Aqueous Phase	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0850	0,0850	0,7936	0,1215
Properties	Temperature [F]	118,6	118,6	118,6	118,6
Composition	Pressure [psia]	374,7	374,7	374,7	374,7
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	207,3	17,61	164,5	25,18
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	6759	370,5	2966	3422
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	545,5	67,92	203,6	274,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,164e+005	-4,416e+004	-1,223e+005	-1,288e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	17,16	38,30	14,22	21,58
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-2,414e+007	-7,777e+005	-2,012e+007	-3,245e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	500,7	2,841e+004	200,1	268,5
	Fluid Package	Basis-1			
	Utility Type				

Input Composition for Stream: Material Stream: M5

	CompMoleFlow
Nitrogen	2,1800
CO2	18,0600
Methane	143,2600
Ethane	10,6400
Propane	11,5400
i-Butane	2,9400
n-Butane	5,1400
i-Pentane	1,8000
n-Pentane	1,3200
n-Hexane	1,2200
n-Heptane	1,0800
n-Octane	0,5600
n-Nonane	0,2400
n-Decane	0,0200
H2O	1498,4341
NBP[0]-44*	1,9261
NBP[0]-30*	2,0364
NBP[0]-16*	2,1447
NBP[0]-2*	2,1420
NBP[0]12*	2,1176

Normalize Total 1887,9734 MSCFD

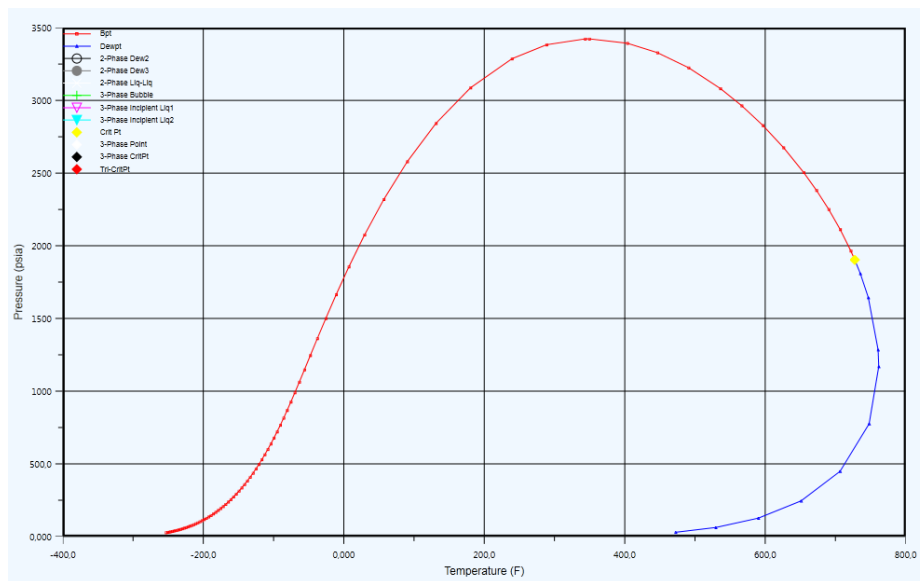
Fuente: Pantalla de resultados de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Como se puede observar, las variables de producción que se relacionan en la anterior imagen para el pozo GSW-06 son:

1. Flujo de liquido: 500,7 Barriles/día
2. Temperatura: 118,6 °F
3. Presión de línea: 374,7 psia
4. Flujo de Gas: 1887,97 MSCFD

Para tener una mejor interpretación de las características del fluido en este punto, a continuación se encuentra la imagen del diagrama PT o envolvente de fase representativa a este fluido del pozo GSW-06

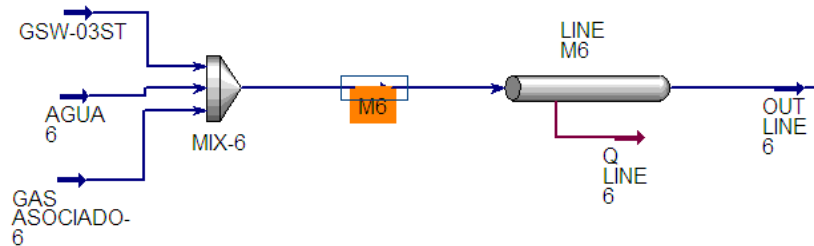
Figura 45 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M5 del pozo GSW-06



Fuente: Pantalla de visualización gráfica en el Software Especializado HYSYS V8.4

- **POZO GSW-03ST**

Figura 46 Corriente total de salida M6, correspondiente al pozo GSW-03ST



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar el punto de medida M5, el cual corresponde a la corriente total del pozo GSW-06, en donde se tiene la mezcla de crudo, agua y gas asociado.

En las siguientes imágenes se podrán observar características de las diferentes variables de producción más relevantes relacionadas en este punto.

Figura 47 Visualización de variables de producción pozo GSW-03ST

Material Stream: M6					
Worksheet Attachments Dynamics					
Worksheet	Stream Name	M6	Vapour Phase	Aqueous Phase	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0979	0,0979	0,8003	0,1019
Properties	Temperature [F]	118,5	118,5	118,5	118,5
Composition	Pressure [psia]	414,7	414,7	414,7	414,7
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	185,0	18,11	148,1	18,85
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	5553	384,2	2670	2499
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	455,1	70,16	183,3	201,7
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,151e+005	-4,449e+004	-1,223e+005	-1,265e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	17,35	38,17	14,22	22,01
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-2,130e+007	-8,057e+005	-1,811e+007	-2,383e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	416,8	2,921e+004	180,1	197,1
	Fluid Package	Basis-1			
	Utility Type				

Input Composition for Stream: Material Stream: M6

	CompMoleFlow
Nitrogen	2,1800
CO2	18,0600
Methane	143,2600
Ethane	10,6400
Propane	11,5400
i-Butane	2,9400
n-Butane	5,1400
i-Pentane	1,8000
n-Pentane	1,3200
n-Hexane	1,2200
n-Heptane	1,0800
n-Octane	0,5600
n-Nonane	0,2400
n-Decane	0,0200
H2O	1348,5907
NBP[0]-44*	1,3868
NBP[0]-30*	1,4662
NBP[0]-16*	1,5442
NBP[0]-2*	1,5423
NBP[0]12*	1,5247

Normalize Total 1685,0590 MSCFD

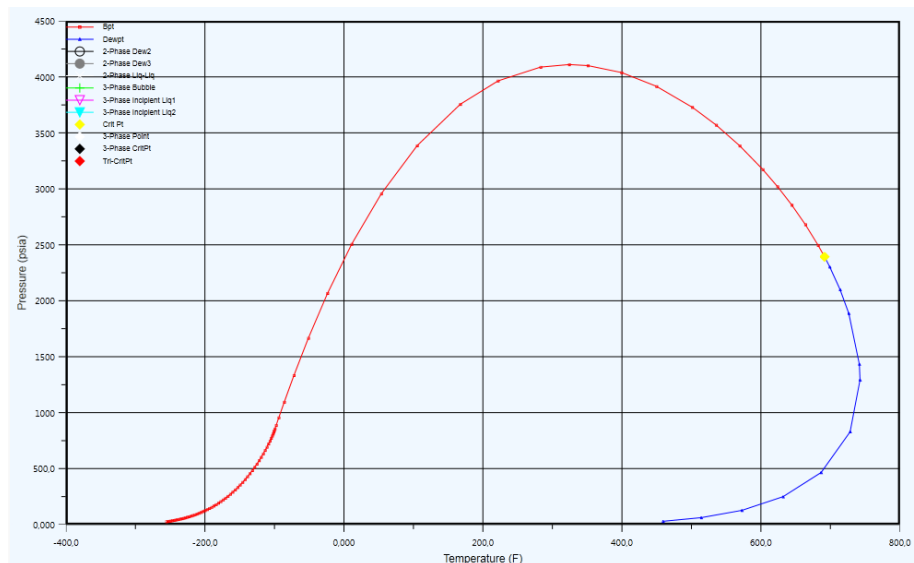
Fuente: Pantalla de resultados de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Como se puede observar, las variables de producción que se relacionan en la anterior imagen para el pozo GSW-03ST son:

1. Flujo de liquido: 416,8 Barriles/día
2. Temperatura: 118,5 °F
3. Presión de línea: 414,7 psia
4. Flujo de Gas: 1685,05 MSCFD

Para tener una mejor interpretación de las características del fluido en este punto, a continuación se encuentra la imagen del diagrama PT o envolvente de fase representativa a este fluido del pozo GSW-03ST

Figura 48 Diagrama PT correspondiente al punto de medición M6 del pozo GSW-03ST



Fuente: Pantalla de visualización gráfica en el Software Especializado HYSYS V8.4

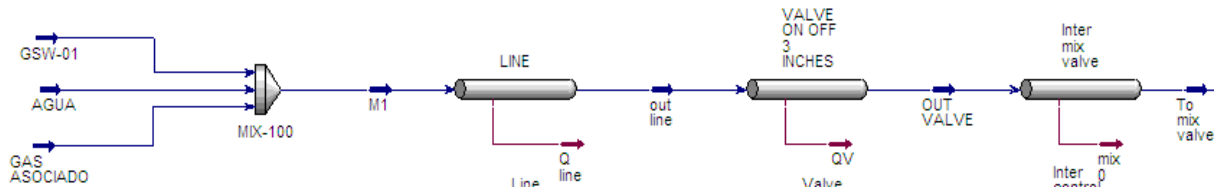
La anterior información corresponde a las corrientes de flujo de cada una de las cabezas de pozo. Esta información es de vital importancia para el análisis hidráulico del sistema, ya que con la información de estas variables de producción es que se verificarán pérdidas de presión en las líneas de superficie, pérdidas generadas por los accesorios de conexión y comportamiento dinámico de la válvula de control de dirección de flujo para los dos modos de operación.

A continuación se van a analizar las diferentes configuraciones de las líneas de superficie, al igual que el comportamiento de los accesorios de conexión de cada una de estas.

- **Línea de Pozo GSW-01**

La línea de superficie para el pozo **GSW-01**, corresponde a un conjunto de líneas de tuberías, con sus correspondientes longitudes, diámetros y especificaciones, más un conjunto de accesorios de conexión, los cuales están representados por la línea de tubería que se observa en la siguiente simulación.

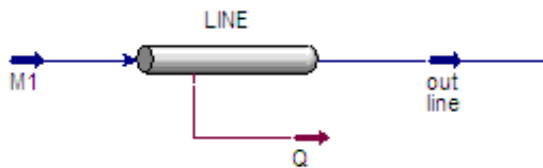
Figura 49 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-01



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la siguiente imagen, se representa la pantalla de configuración de las líneas de flujo con sus correspondientes accesorios de conexión.

Figura 50 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-01



Length - Elevation Profile							
Segment	1	2	3	4	5	6	7
Fitting/Pipe	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe
Length/Equivalent Length	19,69	0,5269	114,8	0,5272	39,37	0,5272	3,281
Elevation Change	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Outer Diameter	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500
Inner Diameter	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068
Material	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron
Roughness	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004
Pipe Wall Conductivity	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73
Increments	5	1	5	1	5	1	5
FittingNo	<empty>	1	<empty>	1	<empty>	1	<empty>

Fuente: Pantalla de configuración de elemento en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar que para el pozo GSW-01, se tiene un grupo de siete (7) segmentos, tanto de líneas de tubería, como también codos y Tee de conexión.

Analizando las diferentes variables de producción y en especial el diferencial de presión que se presenta en todo el tramo de la línea, se puede observar que la

caída de presión es muy baja en todo el trayecto, desde el cabezal hasta el manifold de producción o para este caso, hasta la válvula de control de dirección de flujo.

Esta diferencia de presiones o pérdidas en esta línea, se puede observar en la siguiente pantalla de simulación o de resultados:

Figura 51 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-01

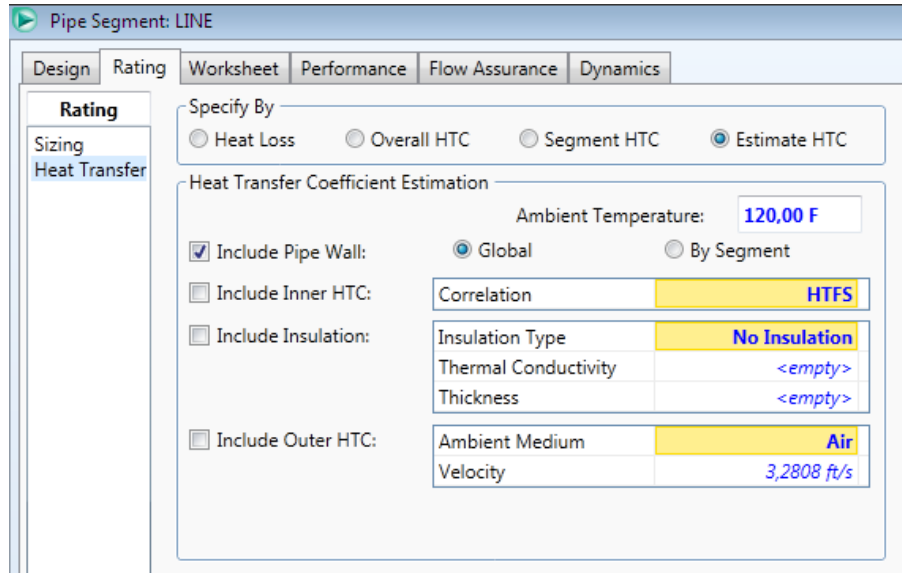
Worksheet	Name	M1	out line	Q line
Conditions	Vapour	0,0000	0,0000	<empty>
Properties	Temperature [F]	75,4027	120,0000	<empty>
Composition	Pressure [psia]	219,7	219,2	<empty>
PF Specs	Molar Flow [lbmole/hr]	123,7217	123,7217	<empty>
	Mass Flow [lb/hr]	5413,1572	5413,1572	<empty>
	LiqVol Flow [barrel/day]	402,4178	402,4178	<empty>
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,270e+005	-1,258e+005	<empty>
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	12,98	15,13	<empty>
	Heat Flow [Btu/hr]	-1,57156e+07	-1,55675e+07	-1,48069e+05

Fuente: Pantalla de resultados de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación de la línea de tubería junto con todos los accesorios de conexión, se puede concluir para este pozo, que la línea se encuentra sobre dimensionada a la capacidad actual del proceso, por esta razón las pérdidas por tubería son muy bajas.

Un factor importante de ajuste que se requirió tener presente para poder desarrollar la simulación de todas las líneas de proceso, fue la transferencia de calor y la especificación de si la líneas se encontraban con aislamiento térmico y si se encontraban en contacto directo con el ambiente o si se presentaba algún segmento de línea bajo tierra o en contacto de esta.

Figura 52 Pantalla de configuración para la transferencia de calor, presente en los segmentos de tubería, accesorios de conexión y válvula de corte manuales.



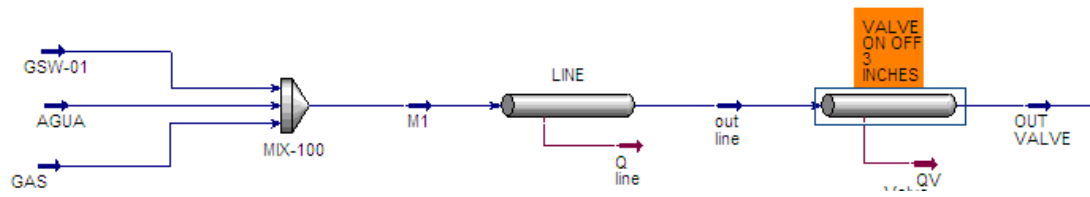
Fuente: Pantalla de configuración de elemento en el Software Especializado HYSYS V8.4

Adicional a la simulación de la línea de flujo y de los accesorios de conexión, se analizó la implementación de una válvula de corte tipo bola, de paso completo, totalmente abierta para todas las líneas de los pozos.

Esta simulación se incluyó para ver los efectos que tendría esta válvula en la línea de proceso ya que en la implementación real de la válvula de control, esta válvula de corte tendría que ser instalada de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones del procedimiento de instalación.

En este caso solamente se va a analizar la válvula de corte de la línea de proceso del pozo GSW-01, ya que al ser esta una válvula de paso completo y que por ende las pérdidas de presión que se puedan presentar en la línea debido a esta válvula son muy bajas. Se analizará solamente para este pozo, ya que los resultados obtenidos en los restantes pozos son muy similares.

Figura 53 Representación esquemática válvula de corte tipo bola



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la siguiente imagen se podrán observar las especificaciones técnicas de la válvula de corte tipo bola. En esta pantalla de configuración, se puede configurar desde el diámetro de conexión, avance, tipo y hasta materiales.

Figura 54 Pantalla de configuración de un segmento como un accesorio de conexión.

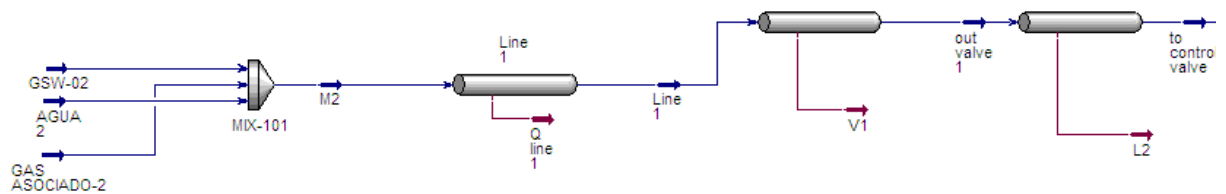
Length - Elevation Profile	
Segment	1
Fitting/Pipe	Ball Valve: Open
Length/Equivalent Length	5,272e-002
Elevation Change	0,0000
Outer Diameter	<empty>
Inner Diameter	3,000
Material	Cast Iron
Roughness	8,497e-004
Pipe Wall Conductivity	27,73
Increments	1
FittingNo	1

Fuente: Pantalla de configuración elemento en el Software Especializado HYSYS V8.4

- **Línea de Pozo GSW-02**

La línea de superficie para el pozo **GSW-02**, corresponde a un conjunto de líneas de tuberías, con sus correspondientes longitudes, diámetros y especificaciones, más un conjunto de accesorios de conexión, los cuales están representados por la línea de tubería que se observa en la siguiente simulación.

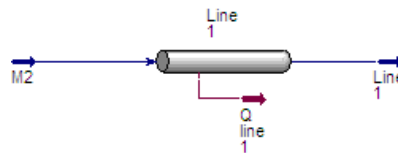
Figura 55 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-02



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la siguiente imagen, se representa la pantalla de configuración de las líneas de flujo con sus correspondientes accesorios de conexión.

Figura 56 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-02



Pipe Segment: Line1								
Design	Rating	Worksheet	Performance	Flow Assurance	Dynamics			
<b>Rating</b>								
Length - Elevation Profile								
Sizing	Segment	1	2	3	4	5	6	7
Heat Transfer	Fitting/Pipe	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe
	Length/Equivalent Length	42.65	6.652	183.7	6.661	72.18	6.664	6.562
	Elevation Change	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Outer Diameter	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500
	Inner Diameter	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068
	Material	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron
	Roughness	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004
	Pipe Wall Conductivity	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73
	Increments	5	1	5	1	5	1	5
	FittingNo	<empty>	1	<empty>	1	<empty>	1	<empty>

Fuente: Pantalla de visualización gráfica en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar que para el pozo GSW-02, se tiene un grupo de siete (7) segmentos, tanto de líneas de tubería, como también codos y Tee de conexión.

Analizando las diferentes variables de producción y en especial el diferencial de presión que se presenta en todo el tramo de la línea, se puede observar que la caída de presión es muy baja en todo el trayecto, desde el cabezal hasta el manifold de producción o para este caso, hasta la válvula de control de dirección de flujo.

Esta diferencia de presiones o pérdidas en esta línea, se puede observar en la siguiente pantalla de simulación o de resultados

Figura 57 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-02

	M2	Line 1	Q line 1
Vapour	0,2207	0,2216	<empty>
Temperature [F]	118,4455	119,9957	<empty>
Pressure [psia]	224,7	218,1	<empty>
Molar Flow [lbmole/hr]	346,0023	346,0023	<empty>
Mass Flow [lb/hr]	11398,7083	11398,7083	<empty>
LiqVol Flow [barrel/day]	1030,0500	1030,0500	<empty>
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,064e+005	-1,064e+005	<empty>
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	20,70	20,79	<empty>
Heat Flow [Btu/hr]	-3,68302e+07	-3,68160e+07	-1,41188e+04

Fuente: Pantalla de resultados de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación de la línea de tubería junto con todos los accesorios de conexión, se puede concluir para este pozo, que la línea se encuentra sobre dimensionada a la capacidad actual del proceso, por esta razón las pérdidas por tubería son muy bajas, solamente se presentó una caída en la presión de 6,6 psig.

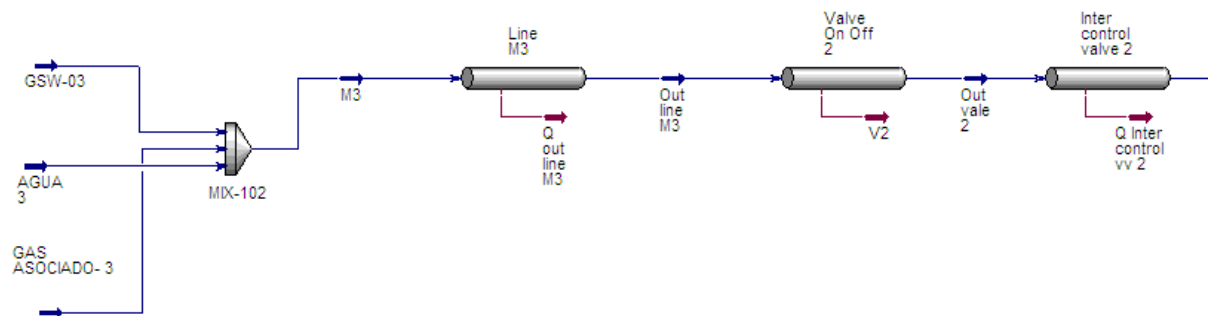
Como se comentó anteriormente, para esta simulación de esta línea, también se tuvo presente la condición de disipación térmica y aislamiento, al igual que la

integración de la válvula de corte, la cual genera una pérdida despreciable en este sistema.

- **Línea de Pozo GSW-03**

La línea de superficie para el pozo **GSW-03**, corresponde a un conjunto de líneas de tuberías, con sus correspondientes longitudes, diámetros y especificaciones, más un conjunto de accesorios de conexión, los cuales están representados por la línea de tubería que se observa en la siguiente simulación.

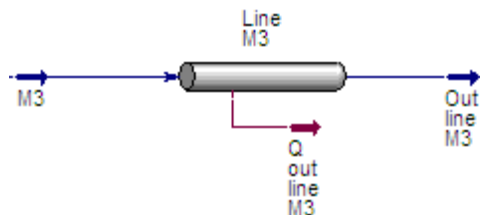
Figura 58 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-03



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la siguiente imagen, se representa la pantalla de configuración de las líneas de flujo con sus correspondientes accesorios de conexión.

Figura 59 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-03



Length - Elevation Profile		1	2	3	4	5	6	7
Fitting/Pipe		Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe
Length/Equivalent Length	75,30	2,893	265,4	2,893	170,6	2,903	6,562	6,562
Elevation Change	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Outer Diameter	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500	3,500
Inner Diameter	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068	3,068
Material	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron
Roughness	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004
Pipe Wall Conductivity	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73
Increments	5	1	5	1	5	1	5	1
FittingNo	<empty>	1	<empty>	1	<empty>	1	<empty>	1

Fuente: Pantalla de resultados de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar que para el pozo GSW-03, se tiene un grupo de siete (7) segmentos, tanto de líneas de tubería, como también codos y Tee de conexión.

Analizando las diferentes variables de producción y en especial el diferencial de presión que se presenta en todo el tramo de la línea, se puede observar que la caída de presión es muy baja en todo el trayecto, desde el cabezal hasta el manifold de producción o para este caso, hasta la válvula de control de dirección de flujo.

Esta diferencia de presiones o perdidas en esta línea, se puede observar en la siguiente pantalla de simulación o de resultados:

Figura 60 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-03

Worksheet	Name	M3	Out line M3	Q out line M3
Conditions	Vapour	0,0953	0,0956	<empty>
Properties	Temperature [F]	118,3413	119,9998	<empty>
Composition	Pressure [psia]	314,7	312,7	<empty>
PF Specs	Molar Flow [lbmole/hr]	190,8548	190,8548	<empty>
	Mass Flow [lb/hr]	6462,2094	6462,2094	<empty>
	LiqVol Flow [barrel/day]	525,1161	525,1161	<empty>
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,159e+005	-1,159e+005	<empty>
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	17,46	17,53	<empty>
	Heat Flow [Btu/hr]	-2,21286e+07	-2,21209e+07	-7,62453e+03

Fuente: Pantalla de resultados de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

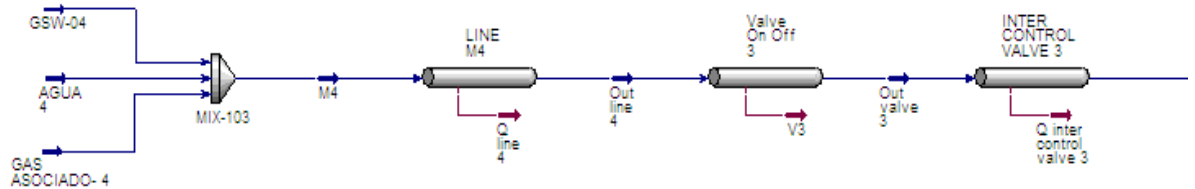
De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación de la línea de tubería junto con todos los accesorios de conexión, se puede concluir para este pozo, que la línea se encuentra sobre dimensionada a la capacidad actual del proceso, por esta razón las pérdidas por tubería son muy bajas, solamente se presentó una caída en la presión de 2 psig.

Como se comentó anteriormente, para esta simulación de esta línea, también se tuvo presente la condición de disipación térmica y aislamiento, al igual que la integración de la válvula de corte, la cual genera una pérdida despreciable en este sistema.

- **Línea de Pozo GSW-04**

La línea de superficie para el pozo **GSW-04**, corresponde a un conjunto de líneas de tuberías, con sus correspondientes longitudes, diámetros y especificaciones, más un conjunto de accesorios de conexión, los cuales están representados por la línea de tubería que se observa en la siguiente simulación.

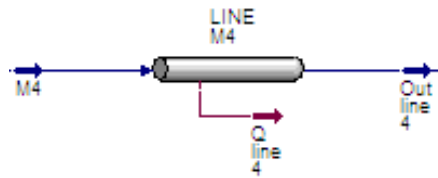
Figura 61 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-04



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la siguiente imagen, se representa la pantalla de configuración de las líneas de flujo con sus correspondientes accesorios de conexión.

Figura 62 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-04



Pipe Segment: LINE M4

Design Rating Worksheet Performance Flow Assurance Dynamics

Rating	Length - Elevation Profile							
	Segment	1	2	3	4	5	6	7
Sizing	Fitting/Pipe	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe
Heat Transfer	Length/Equivalent Length	72.17	2,514	190.3	2,518	177.2	2,521	6,562
	Elevation Change	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Outer Diameter	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500
	Inner Diameter	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068
	Material	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron
	Roughness	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004
	Pipe Wall Conductivity	27.73	27.73	27.73	27.73	27.73	27.73	27.73
	Increments	5	1	5	1	5	1	5
	FittingNo	<empty>	1	<empty>	1	<empty>	1	<empty>

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar que para el pozo GSW-03, se tiene un grupo de siete (7) segmentos, tanto de líneas de tubería, como también codos y Tee de conexión.

Analizando las diferentes variables de producción y en especial el diferencial de presión que se presenta en todo el tramo de la línea, se puede observar que la caída de presión es muy baja en todo el trayecto, desde el cabezal hasta el manifold de producción o para este caso, hasta la válvula de control de dirección de flujo.

Esta diferencia de presiones o pérdidas en esta línea, se puede observar en la siguiente pantalla de simulación o de resultados:

Figura 63 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-04

Worksheet	Name	M4	Out line 4	Q line 4
Conditions	Vapour	0,0749	0,0752	<empty>
Properties	Temperature [F]	118,3186	119,9999	<empty>
Composition	Pressure [psia]	374,7	372,6	<empty>
PF Specs	Molar Flow [lbmole/hr]	227,9243	227,9243	<empty>
	Mass Flow [lb/hr]	7704,3766	7704,3766	<empty>
	LiqVol Flow [barrel/day]	615,7883	615,7883	<empty>
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,174e+005	-1,173e+005	<empty>
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	16,95	17,02	<empty>
	Heat Flow [Btu/hr]	-2,67492e+07	-2,67400e+07	-9,17844e+03

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

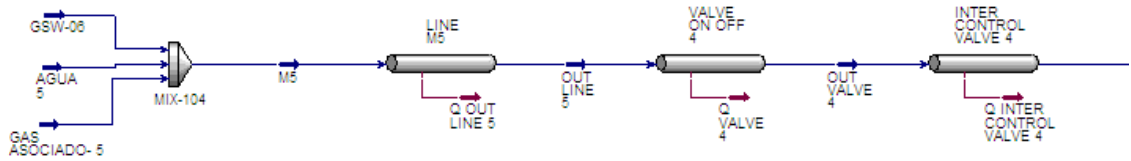
De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación de la línea de tubería junto con todos los accesorios de conexión, se puede concluir para este pozo, que la línea se encuentra sobre dimensionada a la capacidad actual del proceso, por esta razón las pérdidas por tubería son muy bajas, solamente se presentó una caída en la presión de 2,1 psig.

Como se comentó anteriormente, para esta simulación de esta línea, también se tuvo presente la condición de disipación térmica y aislamiento, al igual que la integración de la válvula de corte, la cual genera una pérdida despreciable en este sistema.

- **Línea de Pozo GSW-06**

La línea de superficie para el pozo **GSW-06**, corresponde a un conjunto de líneas de tuberías, con sus correspondientes longitudes, diámetros y especificaciones, más un conjunto de accesorios de conexión, los cuales están representados por la línea de tubería que se observa en la siguiente simulación.

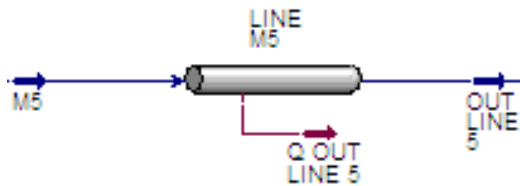
Figura 64 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-06



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la siguiente imagen, se representa la pantalla de configuración de las líneas de flujo con sus correspondientes accesorios de conexión.

Figura 65 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-06



Pipe Segment: LINE M5

Design	Rating	Worksheet	Performance	Flow Assurance	Dynamics		
<b>Rating</b>							
Length - Elevation Profile							
Segment	1	2	3	4	5	6	7
Fitting/Pipe	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe
Length/Equivalent Length	124,7	2,457	196,9	2,461	52,49	2,462	6,562
Elevation Change	65,62	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Outer Diameter	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500
Inner Diameter	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068	3,000	2,900
Material	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron
Roughness	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004
Pipe Wall Conductivity	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73
Increments	5	1	5	1	5	1	5
FittingNo	<empty>	1	<empty>	1	<empty>	1	<empty>

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar que para el pozo GSW-06, se tiene un grupo de siete (7) segmentos, tanto de líneas de tubería, como también codos y Tee de conexión.

Analizando las diferentes variables de producción y en especial el diferencial de presión que se presenta en todo el tramo de la línea, se puede observar que la

caída de presión es muy baja en todo el trayecto, desde el cabezal hasta el manifold de producción o para este caso, hasta la válvula de control de dirección de flujo.

Esta diferencia de presiones o pérdidas en esta línea, se puede observar en la siguiente pantalla de simulación o de resultados:

Figura 66 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-06

Worksheet	Name	M5	OUT LINE 5	Q OUT LINE 5
Conditions	Vapour	0,0850	0,0858	<empty>
Properties	Temperature [F]	118,6487	119,9999	<empty>
Composition	Pressure [psia]	374,7	358,5	<empty>
PF Specs	Molar Flow [lbmole/hr]	207,3083	207,3083	<empty>
	Mass Flow [lb/hr]	6758,6211	6758,6211	<empty>
	LiqVol Flow [barrel/day]	545,4532	545,4532	<empty>
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,164e+005	-1,164e+005	<empty>
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	17,16	17,23	<empty>
	Heat Flow [Btu/hr]	-2,41407e+07	-2,41337e+07	-7,58125e+03

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

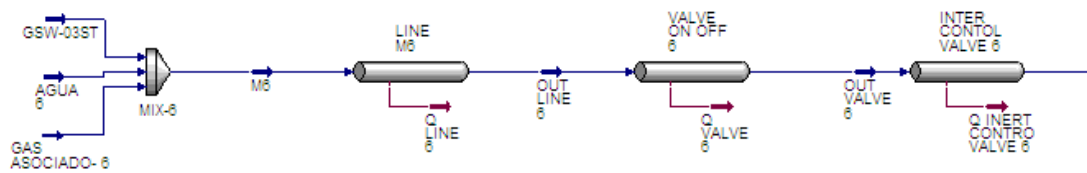
De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación de la línea de tubería junto con todos los accesorios de conexión, se puede concluir para este pozo, que la línea se encuentra sobre dimensionada a la capacidad actual del proceso, por esta razón las pérdidas por tubería son muy bajas, solamente se presentó una caída en la presión de 16,2 psig.

Como se comentó anteriormente, para esta simulación de esta línea, también se tuvo presente la condición de disipación térmica y aislamiento, al igual que la integración de la válvula de corte, la cual genera una pérdida despreciable en este sistema.

- **Línea de Pozo GSW-03ST**

La línea de superficie para el pozo GSW-03ST, corresponde a un conjunto de líneas de tuberías, con sus correspondientes longitudes, diámetros y especificaciones, más un conjunto de accesorios de conexión, los cuales están representados por la línea de tubería que se observa en la siguiente simulación.

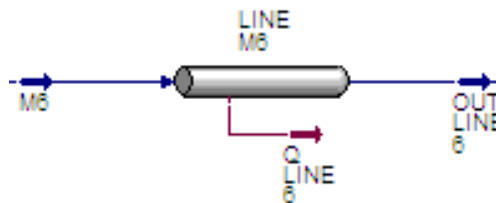
Figura 67 Esquema de líneas de conexión y accesorios principales para el pozo GSW-03ST



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la siguiente imagen, se representa la pantalla de configuración de las líneas de flujo con sus correspondientes accesorios de conexión.

Figura 68 Segmentos de tubería y accesorios de conexión pozo GSW-03ST



Pipe Segment: LINE M6							
Design	Rating	Worksheet	Performance	Flow Assurance	Dynamics		
Length - Elevation Profile							
Rating							
Sizing							
Heat Transfer							
	Segment	1	2	3	4	5	7
	Fitting/Pipe	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe
	Length/Equivalent Length	46,13	2,014	115,3	265,3	2,017	183,7
	Elevation Change	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Outer Diameter	3,500	<empty>	3,500	3,500	<empty>	3,500
	Inner Diameter	3,068	3,000	3,068	3,068	3,000	3,068
	Material	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron
	Roughness	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004
	Pipe Wall Conductivity	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73
	Increments	5	1	5	5	1	5
	FittingNo	<empty>	1	<empty>	<empty>	1	<empty>

Segment	2	3	4	5	6	7	8
Fitting/Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe	Elbow: 90 Std	Pipe
Length/Equivalent Length	2,014	115,3	265,3	2,017	183,7	2,019	6,562
Elevation Change	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Outer Diameter	<empty>	3,500	3,500	<empty>	3,500	<empty>	3,500
Inner Diameter	3,000	3,068	3,068	3,000	3,068	3,000	3,068
Material	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron	Cast Iron
Roughness	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004	8,497e-004
Pipe Wall Conductivity	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73
Increments	1	5	5	1	5	1	5
FittingNo	1	<empty>	<empty>	1	<empty>	1	<empty>

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

En la anterior imagen se puede observar que para el pozo GSW-03ST, se tiene un grupo de ocho (8) segmentos, tanto de líneas de tubería, como también codos y Tee de conexión.

Analizando las diferentes variables de producción y en especial el diferencial de presión que se presenta en todo el tramo de la línea, se puede observar que la caída de presión es muy baja en todo el trayecto, desde el cabezal hasta el manifold de producción o para este caso, hasta la válvula de control de dirección de flujo.

Esta diferencia de presiones o pérdidas en esta línea, se puede observar en la siguiente pantalla de simulación o de resultados:

Figura 69 Variables analizadas en la línea de flujo de producción del pozo GSW-03ST

Worksheet	Name	M6	OUT LINE 6	Q LINE 6
Conditions	Vapour	0,0979	0,0981	<empty>
Properties	Temperature [F]	118,4771	119,9999	<empty>
Composition	Pressure [psia]	414,7	412,6	<empty>
PF Specs	Molar Flow [lbmole/hr]	185,0274	185,0274	<empty>
	Mass Flow [lb/hr]	5553,1279	5553,1279	<empty>
	LiqVol Flow [barrel/day]	455,1190	455,1190	<empty>
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,151e+005	-1,151e+005	<empty>
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	17,35	17,42	<empty>
	Heat Flow [Btu/hr]	-2,12975e+07	-2,12911e+07	-6,38034e+03

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación de la línea de tubería junto con todos los accesorios de conexión, se puede concluir para este pozo, que la línea se encuentra sobre dimensionada a la capacidad actual del proceso, por esta razón las pérdidas por tubería son muy bajas, solamente se presentó una caída en la presión de 2,1 psig.

Como se comentó anteriormente, para esta simulación de esta línea, también se tuvo presente la condición de disipación térmica y aislamiento, al igual que la integración de la válvula de corte, la cual genera una pérdida despreciable en este sistema.

Con el anterior análisis desarrollado, ya se tienen totalmente identificadas las diferentes variables de producción en los puertos de entrada de la válvula de control de dirección de flujo.

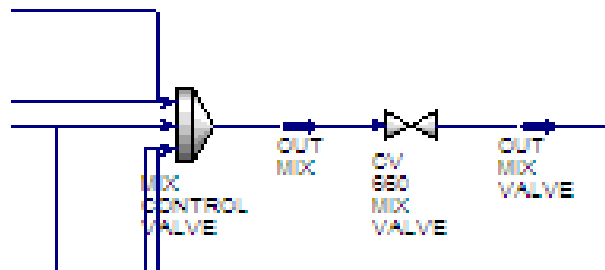
Ya se tienen variables identificadas como presión, temperatura y caudal ya en los puertos de entrada a la válvula, para así poder continuar con el análisis de la operación puntual bajo estas condiciones descritas.

A continuación, el análisis se centrará en la operación de la válvula de dirección de flujo en los dos modos de operación. El primer modo de operación a analizar, será cuando se tienen todos los seis (6) pozos alineados a la válvula.

**2.5.1 Modo de operación con los seis (6) pozos seleccionados a separador principal:** En este análisis se va a evaluar la operación de la válvula bajo las condiciones de operación de todos los flujos sumados.

En la siguiente imagen se encuentra el esquema de simulación de la válvula de control.

Figura 70 Esquema de simulación de la válvula de control.



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

El sumador, como se puede observar, tiene la función lógica de sumar todas las corrientes alineadas, que para este caso son los seis flujos provenientes de los pozos productores.

Como resultado de esta suma, tenemos una combinación de las diferentes variables de producción, al igual que la combinación de algunas características puntuales de los fluidos.

A continuación se analizan las diferentes variables que son críticas para la operación de la válvula de control de dirección de flujo:

Figura 71 Variables de producción a la salida del sumador

Material Stream: OUT MIX					
Worksheet Attachments Dynamics					
Worksheet	Stream Name	OUT MIX	Vapour Phase	Aqueous Phase	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,1185	0,1185	0,7583	0,1232
Properties	Temperature [F]	119,6	119,6	119,6	119,6
Composition	Pressure [psia]	218,0	218,0	218,0	218,0
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	1281	151,8	971,3	157,8
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	4,329e+004	3343	1,751e+004	2,244e+004
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	3574	593,7	1201	1779
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,145e+005	-4,542e+004	-1,223e+005	-1,332e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	18,10	39,44	14,25	21,29
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,467e+008	-6,893e+006	-1,188e+008	-2,102e+007
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3273	2,447e+005	1181	1755
	Fluid Package	Basis-1			

Input Composition for Stream: Material Stream: OUT MIX

	CompMoleFlow
Nitrogen	16,9288
CO2	140,2453
Methane	1112,4884
Ethane	82,6251
Propane	89,6141
i-Butane	22,8306
n-Butane	39,9148
i-Pentane	13,9779
n-Pentane	10,2505
n-Hexane	9,4739
n-Heptane	8,3868
n-Octane	4,3487
n-Nonane	1,8637
n-Decane	0,1553
H2O	8855,3305
NBP[0]-44*	12,7664
NBP[0]-30*	13,4975
NBP[0]-16*	14,2151
NBP[0]-2*	14,1974
NBP[0]12*	14,0354

Normalize Total 11664,7010 MSCFD

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Como se puede observar en esta pantalla de resultados, las variables de producción críticas a analizar son:

Caudal de liquido total: 3273 Barriles /día

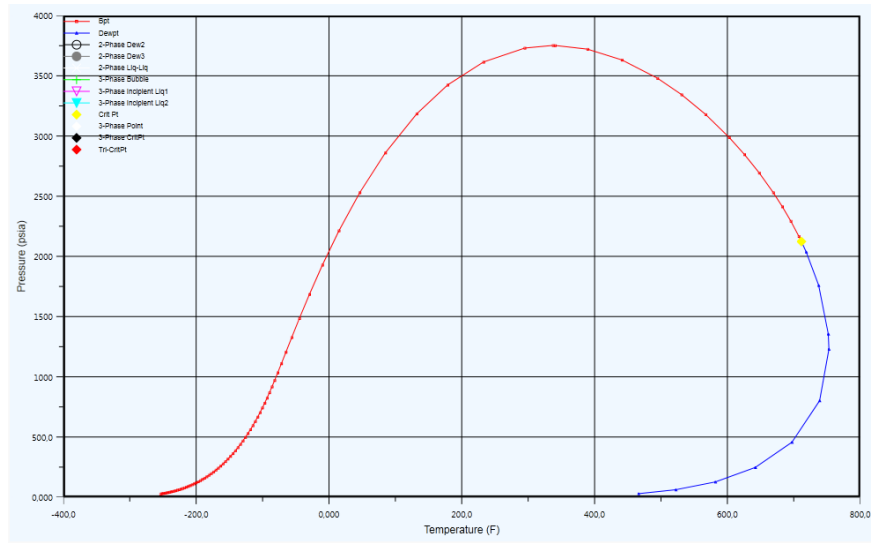
Presión de línea: 218 psia

Temperatura: 119,6 °F

Caudal de gas asociado: 11664,70 MSCFD

La envolvente de fase o diagrama PT que caracteriza el crudo en este punto, a la salida del sumador, se puede observar en la siguiente imagen:

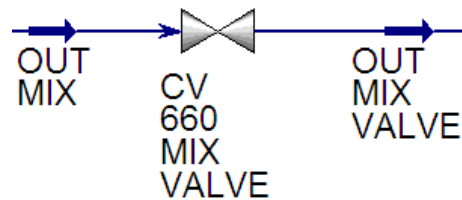
Figura 72 Envolvente de fase o diagrama PT del crudo luego de la mezcla



Fuente: Pantalla de visualización gráfica de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Con las anteriores variables de producción identificadas y evaluadas, se procede a analizar puntualmente la operación de la simulación de la sección de la válvula de control, la cual se caracterizo por medio del CV o coeficiente de flujo de la válvula, de acuerdo a la información suministrada por el fabricante Emerson Bettis® en la diferente literatura y manuales que este documento hace referencia.

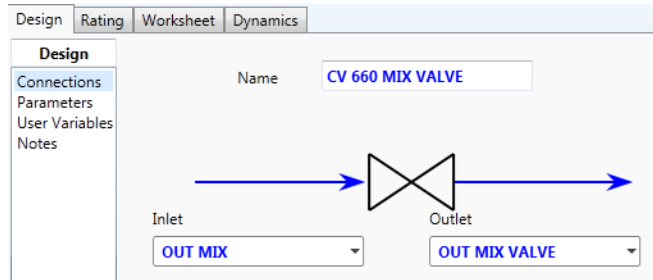
Fig 72. Esquema de la válvula de control caracterizada



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

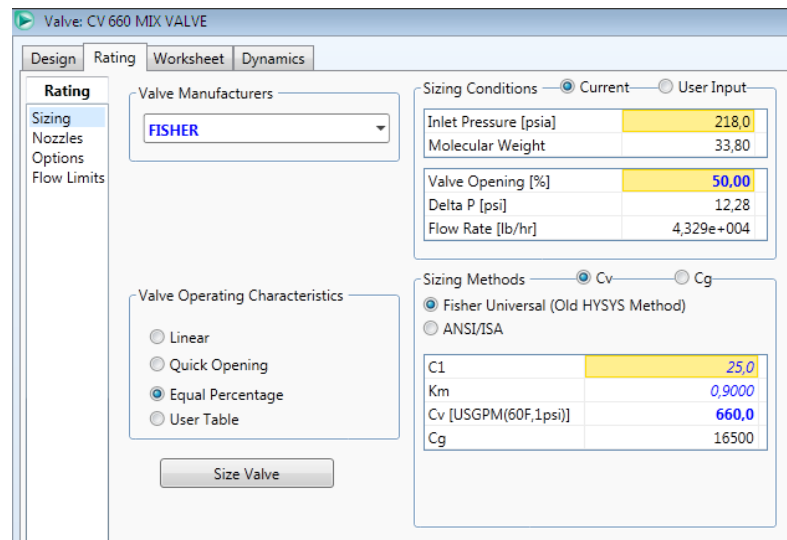
Para este modo de operación, en donde se están sumando todas las corrientes de flujo, el coeficiente de caracterización de la válvula es 660. Con esta característica se proceden a evaluar como se afectan o interactúan las diferentes variables de producción con la válvula de control.

Figura 73 Pantalla de configuración de corrientes de entrada y salida de la válvula



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

Figura 74 Pantalla de configuración de parámetros de operación de la válvula de control

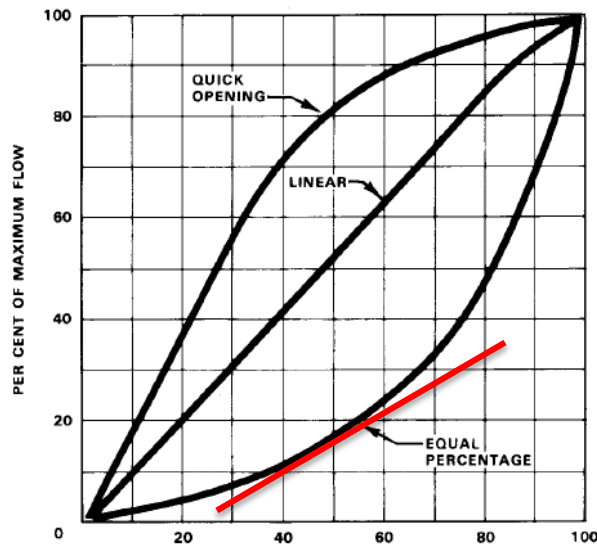


Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

En las anteriores imágenes y como se había explicado en una sección anterior en este documento. En estas pantallas de configuración, es donde el programa permite caracterizar parámetros de operación de la válvula, tales como el CV o coeficiente de flujo, el porcentaje de apertura y el tipo de operación o característica de operación de la válvula. Para este caso, se selecciono el CV con el valor de 660, la apertura de la válvula se configuro para manejar este coeficiente al 50% de apertura de la válvula.

Como se selecciona una operación de igual porcentaje, para tener una mayor precisión y controlabilidad del proceso, el punto de operación al estar en el 50%, se encuentra en la parte de la grafica en donde se presenta un comportamiento linealidad, pero sin perder la característica de igual porcentaje.

Figura 75 Punto de operación en el 50% de apertura, para estar en la región lineal de la gráfica



Fuente: Catalogo en línea ( Fisher control Valves)<sup>20</sup>

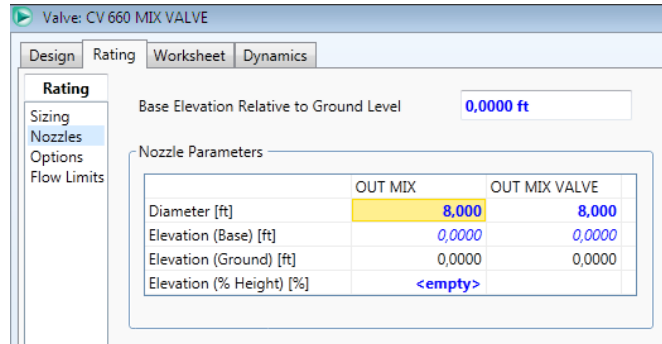
Luego de la configuración de parámetros de operativos de la válvula, se procede a configurar los parámetros físicos de la válvula, como lo es el diámetro de conexión.

En la siguiente pantalla de configuración, se relaciono el diámetro tanto de entrada como de salida de la válvula de control:

<sup>20</sup> EMERSON. Boletín [en línea].

<http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/bulletins/d101363x012.pdf>

Figura 76 Pantalla de configuración de conexiones de la válvula de control



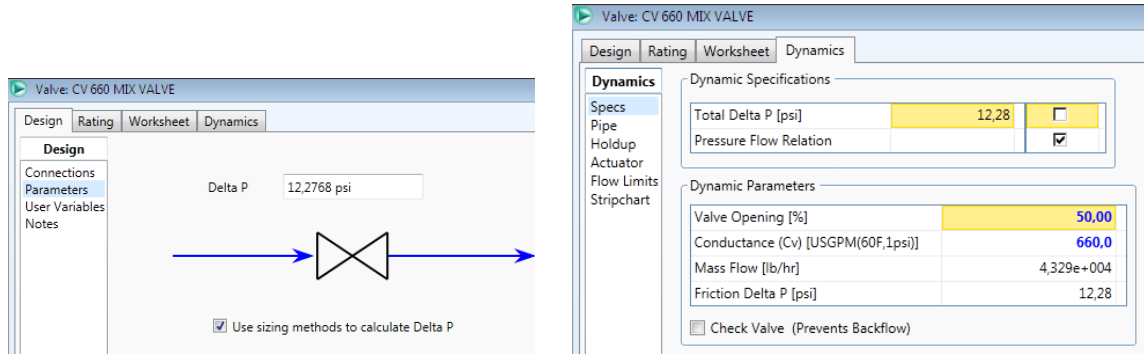
Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Como se puede observar en la anterior imagen, también se relacionan parámetros como elevación, lo cuales para este estudio no tienen ninguna relación con la operación de la válvula ya que la recomendación dada, por el fabricante es que la válvula debe ser montada horizontal o verticalmente en relación a una línea base.

Con los parámetros de operación y de conexión configurados, se procede a calcular el diferencial de presión que la válvula de control va a generar al estar en el 50% de apertura con un CV igual a 660.

El diferencial de presión, gracias a los algoritmos matemáticos que integra el programa de simulación, y al tener las variables de producción identificadas, como lo son el caudal, el CV y la característica del fluido, el programa realiza una iteración numérica, con la cual este puede calcular el valor del diferencial de presión generado por la válvula de control.

Figura 77 Pantallas en donde se puede visualizar el delta de presión



Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

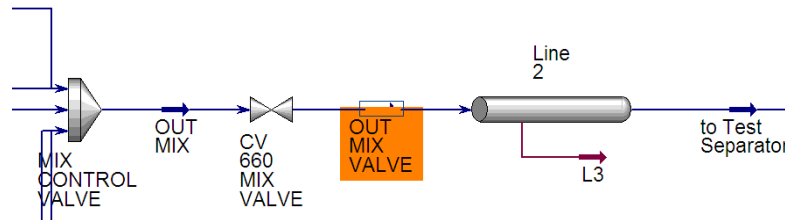
Conociendo el diferencia de presión generado por la válvula de control, se puede determinar que la válvula de control, para estas condiciones de operación, se encontraría en una región de operación óptima, solamente se presenta una caída en la presión de la línea de 12, 27 psi.

Al ser este valor solamente un 5,6% de la presión de entrada, se puede analizar que la válvula esta en un régimen operativo adecuado, y que puede llegar a tener un gran rango de operación en condiciones de proceso que se salgan de la operación normal.

Al analizar todas estas variables, se puede concluir que la válvula de control de dirección de flujo, es una alternativa técnica muy atractiva para implementar en este campo de producción, ya que las pérdidas por tubería son mínimas, lo cual no estaría generando aumentos en pérdidas de presión en las líneas y por ende afectando la producción de los pozos.

Analizando el siguiente punto de interés, el cual es a la salida de la válvula de control, las variables de producción están en los siguientes valores:

Figura 78 Punto de análisis a la salida de la válvula de control y estado de las variables de producción



Material Stream: OUT MIX VALVE					
Worksheet Attachments Dynamics					
Worksheet	Stream Name	OUT MIX VALVE	Vapour Phase	Aqueous Phase	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,1193	0,1193	0,7583	0,1225
Properties	Temperature [F]	119,4	119,4	119,4	119,4
Composition	Pressure [psia]	205,8	205,8	205,8	205,8
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	1281	152,8	971,2	156,8
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	4,329e+004	3378	1,751e+004	2,241e+004
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	3574	598,5	1201	1774
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,145e+005	-4,551e+004	-1,223e+005	-1,337e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	18,12	39,55	14,24	21,23
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,467e+008	-6,953e+006	-1,188e+008	-2,096e+007
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3273	2,464e+005	1181	1752
	Fluid Package	Basis-1			
	Utility Type				

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Las variables de producción a la salida de la válvula de control, se encuentran de acuerdo a la simulación realizada, en los siguientes valores:

Caudal de liquido total: 3273 Barriles /día

Presión de línea: 205,9 psia

Temperatura: 119,4 °F

Caudal de gas asociado: 11664,70 MSCFD

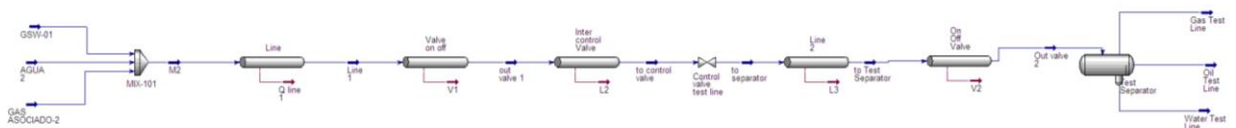
La variable que se ve afectada y era de esperarlo es la presión de entrada a la válvula, de acuerdo al análisis anteriormente desarrollado esta variable es la que

se ve afectada debido al comportamiento y caracterización que presenta la válvula.

**2.5.2 Modo de operación, pozo seleccionado a separador de prueba:** Para este modo de operación, la simulación es más sencilla ya que no se integra el sumador y la emulación de la válvula solo se desarrolla por medio de la caracterización de la válvula de control.

En la siguiente imagen se encuentra el esquemático de simulación de este modo de operación:

Figura 79 Esquema básico de configuración modo de selección de un pozo a separador de prueba.



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

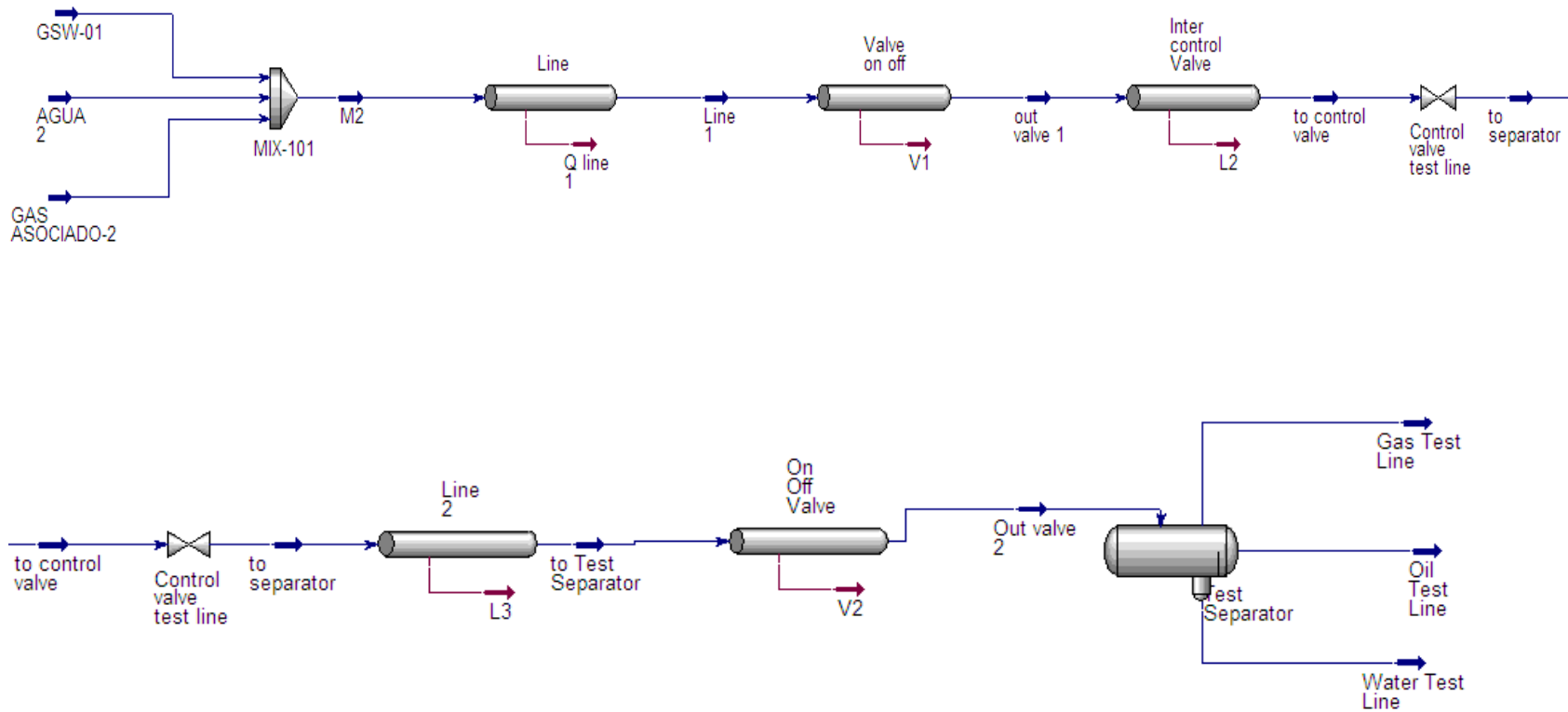
Como se puede observar, en este modo de operación, se elimina el sumador ya que solo se está analizando la operación del pozo que se seleccionó para llevarlo exclusivamente al separador de prueba.

El flujo de las líneas de los otros pozos, se encuentran en modo de operación de suma sin llegar a influir en el flujo del pozo seleccionado. Es decir como la selección se realiza antes de que se realice la suma, las características del fluido junto con todas las variables de producción se mantienen sin alterarse por la presencia de las otras líneas.

Otra característica muy importante que cambia es el coeficiente o caracterización de la válvula de control, como ya no se requiere pasar un gran caudal, como se requeriría al tener la suma de todos los pozos, el CV para este modo de operación se reduce a un valor de 270 y a una tubería de 4”.

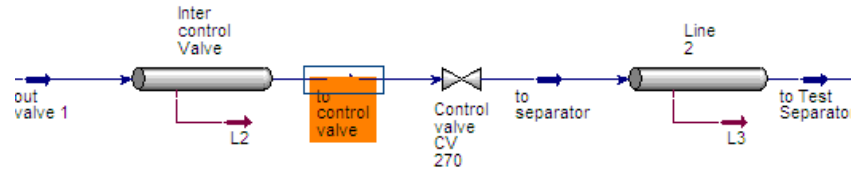
En la siguiente imagen se puede ver de una mejor manera el esquema de operación de la válvula de control de dirección de flujo tipo Multipuerto, en modo de alineación a separador de prueba.

Figura 80 Esquema de operación modo de selección de pozo a separador de prueba.



Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Figura 81 Variables de producción a la entrada de la válvula de control



Material Stream: to control valve

Worksheet	Attachments	Dynamics
<b>Worksheet</b>	Stream Name	to control valve
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0671
Properties	Temperature [F]	120,0
Composition	Pressure [psia]	208,1
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	1030
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	3,636e+004
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	2862
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,188e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	16,82
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,223e+008
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	2638
	Fluid Package	Basis-1
	Utility Type	

Input Composition for Stream: Material Stream: to control valve

Component	CompMoleFlow
Nitrogen	8,1750
CO2	67,7250
Methane	537,2250
Ethane	39,9000
Propane	43,2750
i-Butane	11,0250
n-Butane	19,2750
i-Pentane	6,7500
n-Pentane	4,9500
n-Hexane	4,5750
n-Heptane	4,0500
n-Octane	2,1000
n-Nonane	0,9000
n-Decane	0,0750
H2O	7492,1704
NBP[0]-44°	11,5568
NBP[0]-30°	12,2186
NBP[0]-16°	12,8682
NBP[0]-2°	12,8522
NBP[0]12°	12,7056

Normalize Total 9379,4063 MSCFD

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Como se puede observar en esta pantalla de resultados, las variables de producción críticas a analizar en este punto son:

Caudal de liquido total: 2638 Barriles /día

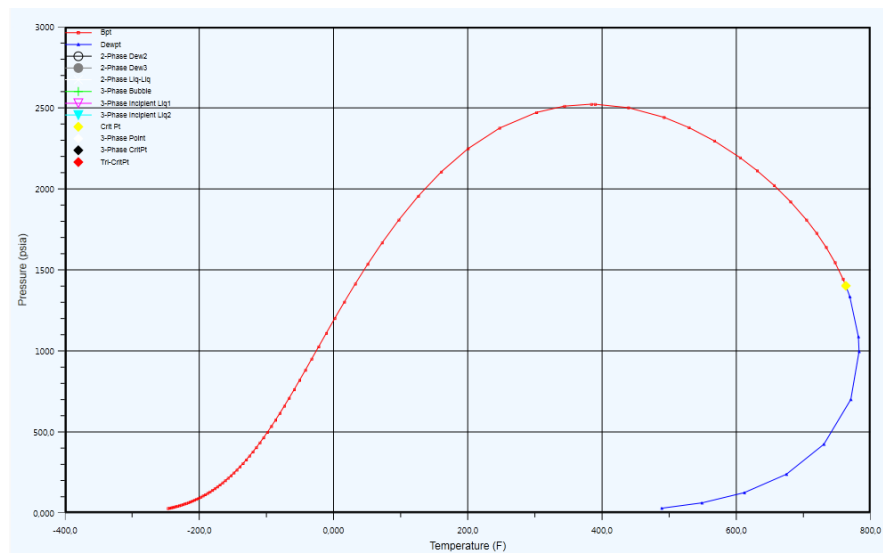
Presión de línea: 208 psia

Temperatura: 120 °F

Caudal de gas asociado: 9379,40 MSCFD

La envolvente de fase o diagrama PT que caracteriza el crudo en este punto, a la entrada de la válvula de control, se puede observar en la siguiente imagen:

Figura 82 Envolvente de fase o diagrama PT del crudo del pozo seleccionado

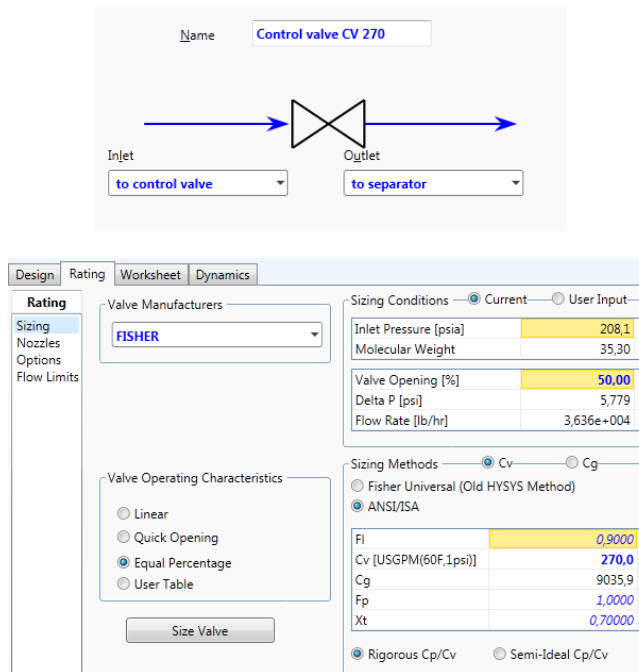


Fuente: Pantalla de visualización gráfica de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Como se analizó en el caso anterior, la válvula de control con su correspondiente característica o CV, es la que nos garantiza el funcionamiento más cercano al de la válvula real.

Para este modo de operación, la válvula de control tendrá un CV de 270 de acuerdo a lo indicado por el fabricante en sus manuales y boletines técnicos, información que se hace referencia en este documento.

Figura 83 Pantalla de configuración de corrientes de entrada y salida de la válvula



Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

En las anteriores imágenes y como se había explicado en una sección anterior en este documento. En estas pantallas de configuración, es donde el programa permite caracterizar parámetros de operación de la válvula, tales como el CV o coeficiente de flujo, el porcentaje de apertura y el tipo de operación o característica de operación de la válvula. Para este caso, se selecciono el CV con el valor de 660, la apertura de la válvula se configuro para manejar este coeficiente al 50% de apertura de la válvula.

Como se selecciona una operación de igual porcentaje, para tener una mayor precisión y controlabilidad del proceso, el punto de operación al estar en el 50%,

se encuentra en la parte de la grafica en donde se presenta un comportamiento linealidad, pero sin perder la característica de igual porcentaje.

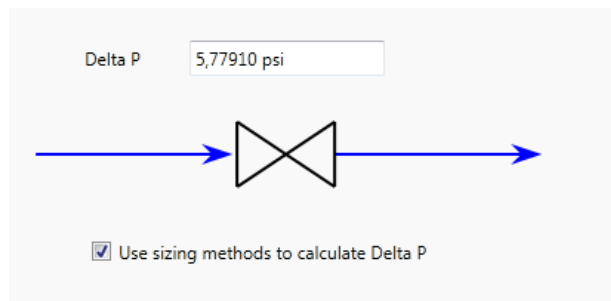
En el anterior modo de operación, se ilustra por medio de una grafica, el punto operativo y lo que se representaría estar con una operación con el 50% de apertura de la válvula de control.

Luego de la configuración de parámetros de operativos de la válvula, se procede a configurar los parámetros físicos de la válvula, como lo es el diámetro de conexión.

Con los parámetros de operación y de conexión configurados, se procede a calcular el diferencial de presión que la válvula de control va a generar al estar en el 50% de apertura con un CV igual a 270.

El diferencial de presión, gracias a los algoritmos matemáticos que integra el programa de simulación, y al tener las variables de producción identificadas, como lo son el caudal, el CV y la característica del fluido, el programa realiza una iteración numérica, con la cual este puede calcular el valor del diferencial de presión generado por la válvula de control.

Figura 84 Pantalla en donde se puede visualizar el delta de presión



Fuente: Pantalla de configuración de elemento en el Software Especializado HYSYS V8.4

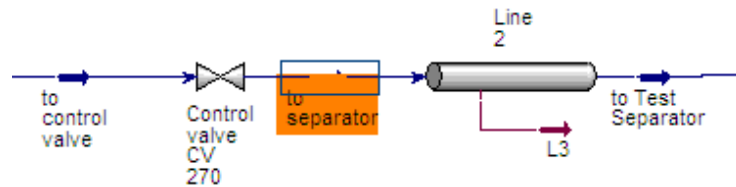
Conociendo el diferencia de presión generado por la válvula de control, se puede determinar que la válvula de control, para esta condición de operación, se encontraría en una región de operación optima, solamente se presenta una caída en la presión de la línea de 5,77 psi.

Al ser este valor solamente un 2,77% de la presión de entrada, se puede analizar que la válvula esta en un régimen operativo adecuado, y que puede llegar a tener un gran rango de operación en condiciones de proceso que se salgan de la operación normal.

Al analizar todas estas variables, se puede concluir que la válvula de control de dirección de flujo, es una alternativa técnica muy atractiva para implementar en este campo de producción, ya que las perdidas por tubería son mínimas, lo cual no estaría generando aumentos en perdidas de presión en las líneas y por ende afectando la producción de los pozos.

Analizando el siguiente punto de interés, el cual es a la salida de la válvula de control, las variables de producción están en los siguientes valores:

Figura 85 Punto de análisis a la salida de la válvula de control y estado de las variables de producción



Material Stream: to separator					
Worksheet Attachments Dynamics					
Worksheet	Stream Name	to separator	Vapour Phase	Aqueous Phase	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0674	0,0674	0,7983	0,1343
Properties	Temperature [F]	119,9	119,9	119,9	119,9
Composition	Pressure [psia]	202,4	202,4	202,4	202,4
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	1030	69,45	822,2	138,3
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	3,636e+004	1500	1,482e+004	2,004e+004
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	2862	268,8	1017	1576
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1,188e+005	-4,464e+004	-1,223e+005	-1,351e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	16,82	39,32	14,26	20,74
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,223e+008	-3,101e+006	-1,005e+008	-1,869e+007
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	2638	1,120e+005	999,7	1559
	Fluid Package	Basis-1			
	Utility Type				

Fuente: Pantalla de resultado de variables en el Software Especializado HYSYS V8.4

Las variables de producción a la salida de la válvula de control, se encuentran de acuerdo a la simulación realizada, en los siguientes valores:

Caudal de liquido total: 2638 Barriles /día

Presión de línea: 202,4 psia

Temperatura: 119,9 °F

Caudal de gas asociado: 9379,40,70 MSCFD

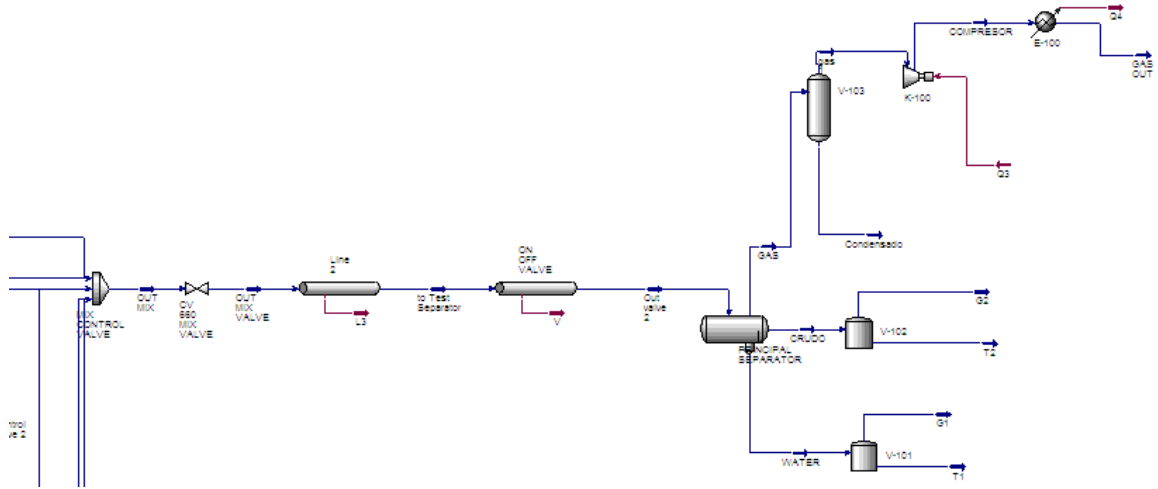
La variable que se ve afectada y era de esperarlo es la presión de entrada a la válvula, de acuerdo al análisis anteriormente desarrollado esta variable es la que se ve afectada debido al comportamiento y caracterización que presenta la válvula.

Para finalizar la simulación del sistema, a la salida de la válvula de control se integra la línea de superficie que llevaría los fluidos de producción hasta el separador principal o facilidad de producción.

Se integra un separador trifásico estándar incorporado por el programa, tanques de almacenamiento para el agua y el crudo luego de la separación de estos y un sistema básico de compresión del gas con su correspondiente Aero enfriador.

Todos estos elementos se incorporaron en la simulación para poder tener un análisis global, pero el alcance de este trabajo de grado, es solamente el análisis puntual de la operación de la válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto en las líneas de producción, desde los cabezales de pozo y hasta el manifold de producción.

Figura 86 Esquema basico de una facilidad de produccion aguas abajo de la válvula tipo Multipuerto



Fuente: Pantalla de simulación en el Software Especializado HYSYS V8.4

En esta seccion se analizó la viabilidad técnica de la implementación de la válvula de control de dirección de flujo, bajo las dos modalidades de operación, en un sistema convencional de producción.

De acuerdo a los analisis desarrollados y a los resultados obtenidos en esta simulacion y modelacion del sistema y de la válvula multipuerto, se puede concluir que la viabilidad tecnica para la incorporacion de esta tecnologia es muy alta y puede llegar a traer muy buenos resultados operativos para el proceso.

### **3. ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA VÁLVULA MULTIPUERTO**

En este capítulo se analizarán los diferentes riesgos internos y externos, que se presentan cuando se desea implementar una nueva tecnología, un nuevo sistema, nuevas inversiones o mejoras a un proceso existente.

En la implementación de la válvula multipuerto a un sistema tradicional de producción, probablemente se pueden presentar riesgos y en este caso se van a analizar a través del método tradicional llamado matriz DOFA.

#### **3.1 MATRIZ DOFA**

La matriz DOFA es un sistema metodológico que sirve para identificar acciones viables mediante el análisis de variables en el supuesto de que las acciones estratégicas deben ser ante todo acciones posibles.

Esta herramienta también permite identificar fortalezas y debilidades del proyecto o de la situación a analizar. Permite la identificación temprana de amenazas y por ende la generación anticipada de estrategias para lograr sortear situaciones y fortalecer todos los aspectos de la situación a analizar.

Cuando se va a hacer un estudio de análisis de riesgos a un proyecto determinado utilizando la matriz DOFA como método de evaluación y análisis, se deben tener los siguientes criterios presentes:

##### **3.1.1 Criterios para la evaluación de proyectos de Ingeniería.**

- Factibilidad Económica, costo beneficio
- Factibilidad Técnica
- Factibilidad Ambiental y legal

- Factibilidad socio cultural
- Factibilidad del retorno de inversión
- Factibilidad del cumplimiento de objetivos y estrategias trazadas.

**3.1.2 Preparación de la matriz DOFA:** En esta etapa es importante conocer los cuatro componentes de la matriz y asociarlos al proyecto en el que se esta trabajando, estos componentes se dividen en los aspectos internos que corresponden a las fortalezas y las debilidades al interior de la compañía que desarrollara o implementara el proyecto.

También se analizan aspectos externos y del contorno en donde se desarrollara o implementara el proyecto, estos aspectos se denominan las oportunidades y amenazas que se presentaran en la ejecución.

Figura 87 Representación gráfica de la matriz DOFA

	<b>POSITIVO</b>	<b>NEGATIVO</b>
<b>ORIGEN INTERNO</b>	FORTALEZAS	DEBILIDADES
<b>ORIGEN EXTERNO</b>	OPORTUNIDADES	AMENAZAS

Esta matriz hace relación a factores internos y externos, los internos se relacionan a fortalezas y debilidades en las cuales se puede tener un cierto grado de control, ya que son internos de la compañía que va a realizar la implementación del sistema o proyecto.

En relación a los factores externos, en donde no se tiene un control directo, las oportunidades que se logren presentar se deben de aprovechar en lo que mas se pueda al igual que reducir el impacto de las amenazas que se puedan estar generando. Estos factores solo son del entorno en donde el sistema o el proyecto se va a desarrollar.

**3.1.3 Información y factores a evaluar para la elaboración de la Matriz DOFA:** De acuerdo a los criterios y factores de evaluación propios de este proyecto, se pueden analizar cual son los factores adecuados para analizar las fortalezas, amenazas y debilidades.

Gracias a la herramienta en línea SWOT, la cual es de libre utilización y aplicación en la Web, se puede utilizar esta aplicación para poder tener un mejor acercamiento y análisis de los datos ingresados, los cuales se consideran vitales para la evaluación del proyecto.

Esta herramienta de análisis o evaluación se encuentra en línea, en la dirección <http://www.enaxis.com/swot/>. La cual permite tener una muy buena evaluación de los datos suministrados.

Bajo ciertos parámetros y resultados de evaluación, se puede determinar que tan factible es el desarrollo o no de un proyecto, para el análisis de este caso se desarrollara para la implementación de la válvula multipuerto en un sistema tradicional de producción.

Dependiendo de los recursos que se van a tener en cuenta y para un correcto análisis, se determinaran los datos a utilizar para poder estar muy cercanos a los factores de interés, los cuales se agrupan en factores internos y externos que puedan llegar a afectar el proyecto.

**3.1.3.1 Factores Internos:** Los factores internos, son factores en los cuales como se había indicado antes en este capítulo, son factores en los cuales se tienen un cierto grado de control o de autonomía y que dependen exclusivamente de la compañía o grupo de interés que esta desarrollando la evaluación o ejecución del proyecto. Estos factores son los puntos de partida en el análisis de factibilidad y toma de decisiones.

Dentro de los factores internos se encuentran:

- Personas y habilidades
- Recursos
- Marketing
- Operaciones ( Productos, Servicios etc)
- Finanzas

Figura 88 Pantalla de configuración de la aplicación en línea SWOT para factores internos

Debilidad	FACTORES INTERNOS	Fortaleza
	Personas y Habilidades	+
	Recursos	+
	Ideas / Innovación	+
	Marketing	+
	Operaciones (Productos, Servicios, etc)	+
	Finanzas	+
	Otros	+

Fuente: Pantalla de configuración software SWOT en Línea.

3.1.3.2 **Factores Externos:** Son los factores que permiten tener un análisis de probabilidad y riesgo, debido a que son factores del entorno y ajenos a la compañía o grupo de interés y en los cuales no se tiene control directo alguno.

Dentro de los factores externos se encuentran:

- Medio ambiente
- Financiamiento del proyecto
- Mercado Internacional
- Mercado interno
- Competidores

Figura 89 Pantalla de configuración de la aplicación en línea SWOT para factores externos.

Amenaza	FACTORES EXTERNOS	Oportunidad
	Varios	+
	Medio Ambiente	+
	Leyes y Gobiernos	+
	Financiamiento	+
	Productos/Servicios	+
	Mercado Internacional	+
	Mercado Interno	+
	Tecnología	+
	Competidores	+
	Proveedores	+
	Consumidores	+
	Otros	+

Fuente: Pantalla de configuración software SWOT en Línea.

3.1.4 Análisis y alimentación de información a la herramienta en línea SWOT. De acuerdo a los factores externos e internos a utilizar, se realiza el análisis para poder determinar los datos que determinan que tan factible es la implementación de la válvula tipo multipuerto en este campo de producción en el Tolima.

En la herramienta en línea, como se puede observar en la siguientes imágenes, se pondera cada uno de los factores entre -10 y 10, siendo cuantificada la debilidad con valores negativos y las fortalezas con valores positivos. El valor cero será un valor neutro que no generara calificación alguna.

**Factores Internos:**

- Personas y habilidades: Este factor hace énfasis al factor de capacidad del personal operativo, en poder manipular y operar la válvula multipuerto.

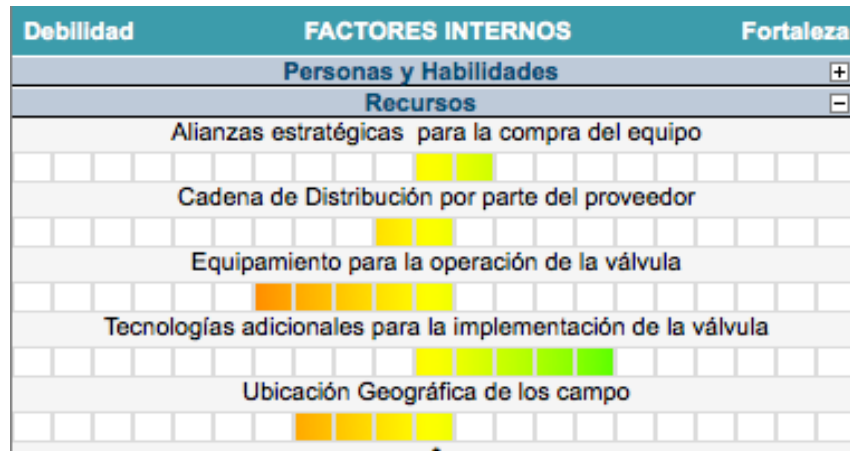
Figura 90 Pantalla de configuración factores internos – Personas y habilidades



Fuente: Pantalla de configuración software SWOT en Línea.

- Recursos: Este factor hace relación a los recursos que se requieren para la implementación del proyecto.

Figura 91 Pantalla de configuración factores internos – Recursos



Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

- Marketing: Este factor hace referencia al mercadeo que se realiza al producto o servicio a implementar.

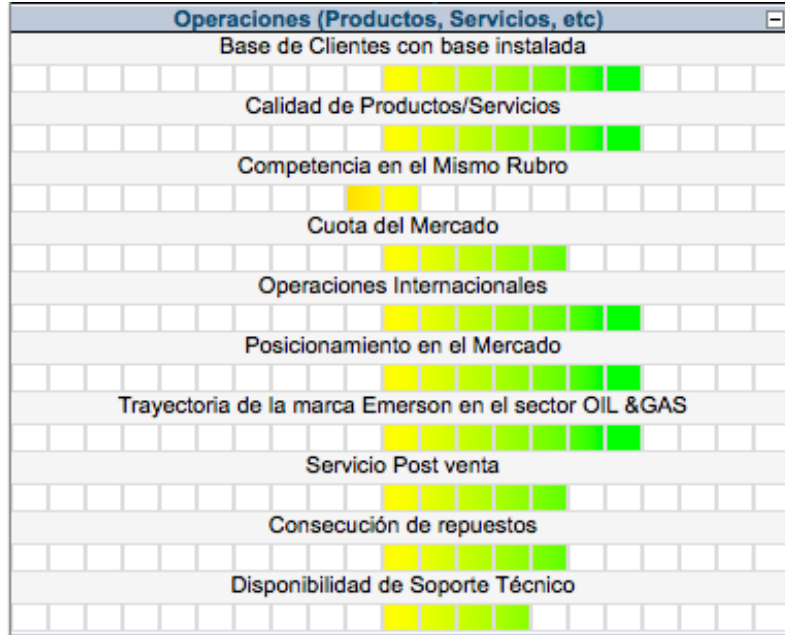
Figura 92 Pantalla de configuración factores internos – Marketing

Debilidad	FACTORES INTERNOS	Fortaleza
	<b>Personas y Habilidades</b>	+
	<b>Recursos</b>	+
	<b>Ideas / Innovación</b>	+
	<b>Marketing</b>	-
	Liderazgo en el Mercado	
	Liderazgo en un Nicho de Mercado	
	Marcas	
	Marketing Efectivo	
	Presencia Online	
	Reputación	
	Base instalada en clientes reconocidos	
	Experiencias certificadas con el equipo o tecnología	

Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

- Operaciones ( Productos, Servicios etc): Este factor esta orientado hacia la calidad y competencia del producto.

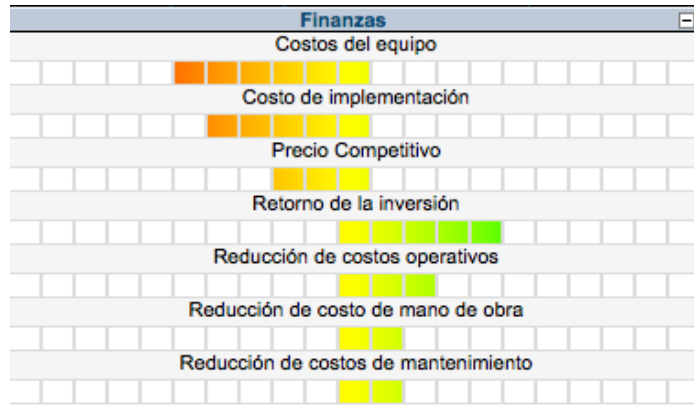
Figura 93 Pantalla de configuración factores internos – Operaciones



Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

- Finanzas: Este factor se orienta al manejo financiero y de costos del proyecto.

Figura 94 Pantalla de configuración factores internos – Finanzas



Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

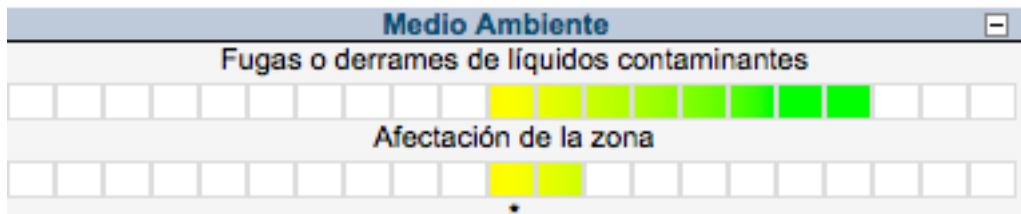
Los anteriores factores internos, fueron los que mas se ajustaron y acomodaron a la realidad, de la implementación de un proyecto de ingeniería de esta clase. En donde se desea implementar una nueva tecnología en un campo tradicional

A continuación se analizarán los factores externos que afectaran de una manera u otra la implementación del proyecto.

**Factores Externos:**

- Medio ambiente: Este factor hace relación a todo lo relacionado con el medio ambiente y la legislación actual en relación a este.

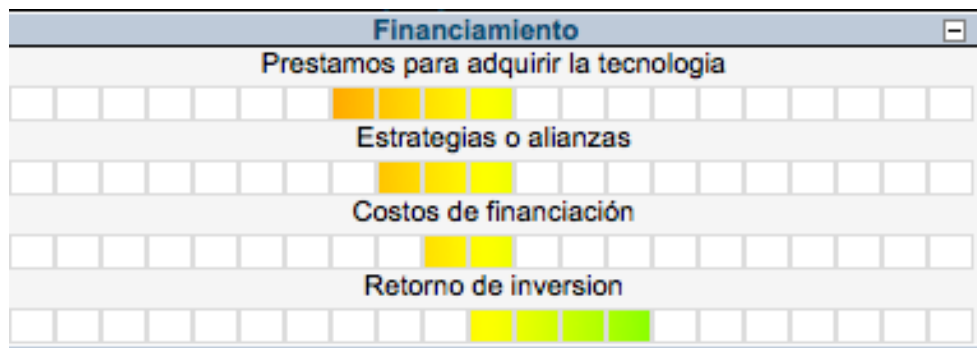
Figura 95 Pantalla de configuración factores externos – Medio Ambiente



Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

- Financiamiento del proyecto: Este factor hace relación al modelo de financiamiento del proyecto o inversión requeridas.

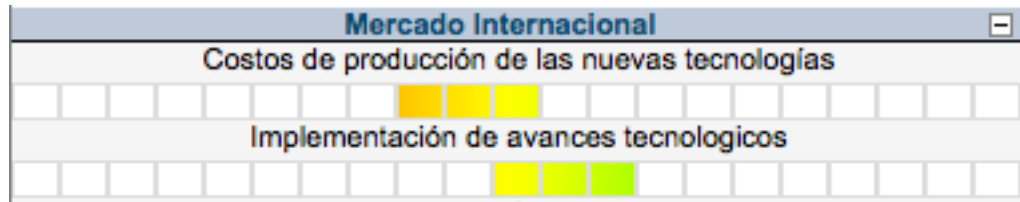
Figura 96 Pantalla de configuración factores externos – Financiamiento



Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

- Mercado Internacional: Este factor hace referencia a factores de los mercados internacionales, tales como costos y desarrollos tecnológicos.

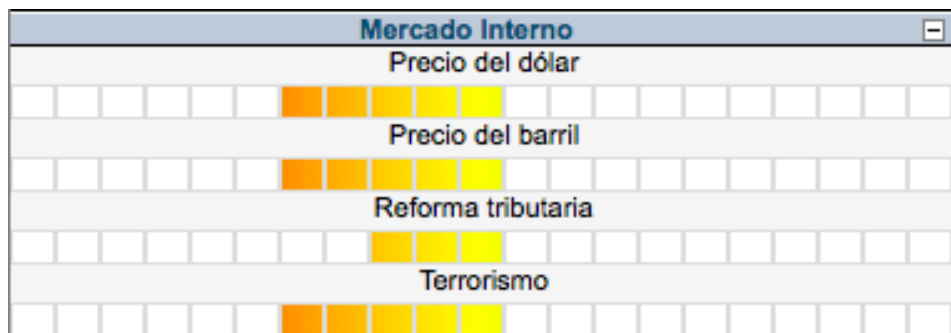
Figura 97 Pantalla de configuración factores externos – Mercado Internacional



Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

- Mercado interno: Este factor hace énfasis en la economía interna del país y de la estabilidad de la compañía que desea implementar la tecnología.

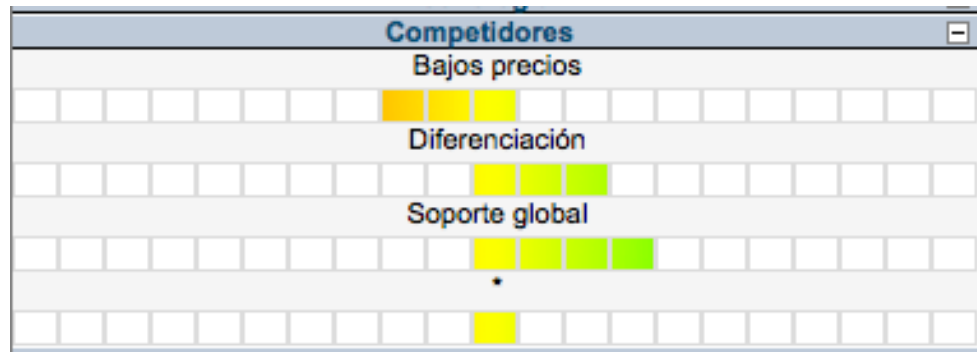
Figura 98 Pantalla de configuración factores externos – Mercado Interno



Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

- Competidores: Este factor hace referencia a movimientos y estrategias de precios y servicios de las compañías competidoras.

Figura 99 Pantalla de configuración factores externos – Competidores



Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

Con todos los factores tanto internos como externos ingresados a la herramienta en línea, se procede a la evaluación de la matriz DOFA del caso particular de la implementación de la válvula multipuerto.

Analizando la información que arroja el sistema o herramienta en línea, se puede observar que se tiene un total de 104 puntos en Fortalezas, 22 puntos en Debilidades, 18 puntos en Oportunidades y 24 puntos en Amenazas.

De lo anterior se puede concluir que este proyecto se caracteriza por tener muy buenas fortalezas, es un proyecto totalmente viable, que si se ve afectado y/o amenazado por diversos factores, pero a medida que el tiempo pase, estos factores se logran recuperar, haciendo cada vez mas, prospero el proyecto.

En las siguientes imágenes, se podrán observar la matriz DOFA del proyecto y la grafica del los promedios de los factores, en donde se visualiza la orientación del vector estratégico, el cual esta apuntando hacia la situación optima marcada por el circulo verde.

### 3.1.5 Matriz DOFA de la implementación de la válvula Mutipuerto

Figura 100 Matriz DOFA de la implementación de la válvula Mutipuerto

Fortalezas		Peso	Debilidades		Peso
Personal Experimentado	4	Reducción de personal	2		
Relación con los Proveedores	2	Cadena de Distribución por parte del proveedor	1		
Capacitación	1	Equipamiento para la operación de la válvula	4		
Alianzas estratégicas para la compra del equipo	1	Ubicación Geográfica de los campo	3		
Tecnologías adicionales para la implementación de la válvula	4	Competencia en el Mismo Rubro	1		
Liderazgo en el Mercado	5	Costos del equipo	5		
Liderazgo en un Nicho de Mercado	5	Costo de implementación	4		
Marcas	5	Precio Competitivo	2		
Marketing Efectivo	5				
Presencia Online	4				
Reputación	5				
Base instalada en clientes reconocidos	5				
Experiencias certificadas con el equipo o tecnología	5				
Base de Clientes con base instalada	6				
Calidad de Productos/Servicios	6				
Cuota del Mercado	4				
Operaciones Internacionales	6				
Posicionamiento en el Mercado	6				
Trayectoria de la marca Emerson en el sector OIL & GAS	6				
Servicio Post venta	4				
Consecución de repuestos	4				
Disponibilidad de Soporte Técnico	3				
Retorno de la inversión	4				
Reducción de costos operativos	2				
Reducción de costo de mano de obra	1				
Reducción de costos de mantenimiento	1				
<b>Total</b>	<b>104</b>	<b>Total</b>	<b>22</b>		

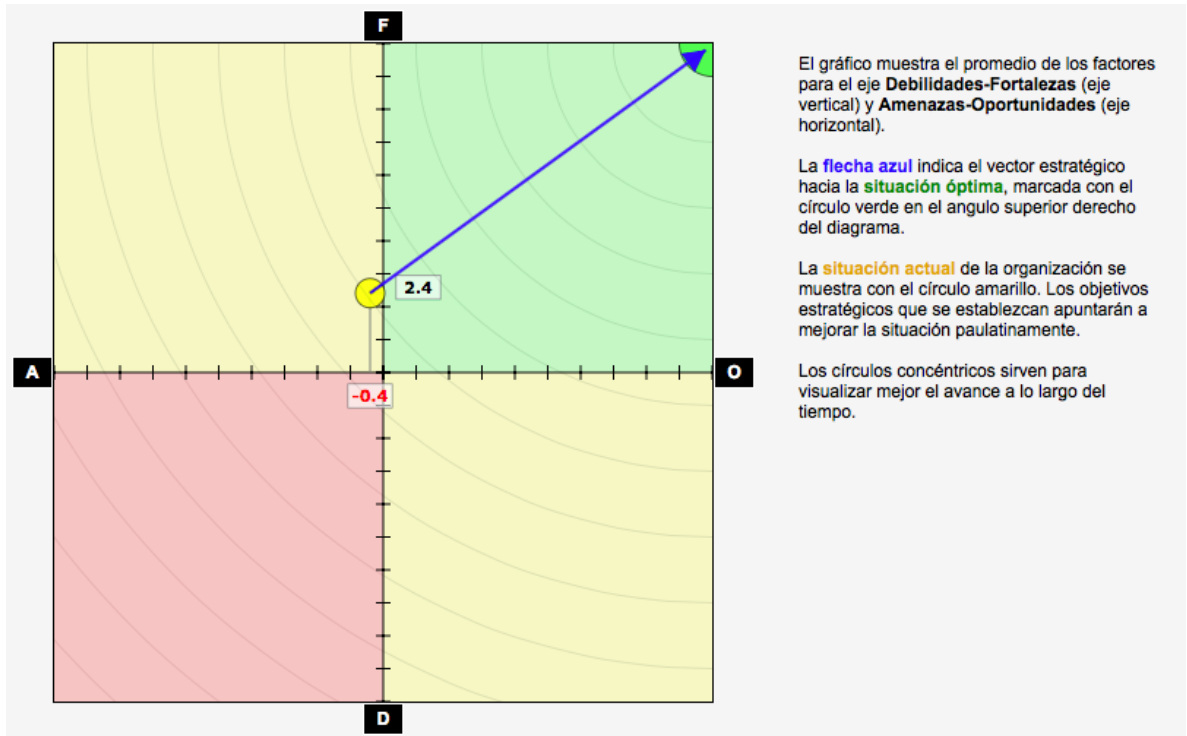
  

Oportunidades		Peso	Amenazas		Peso
Fugas o derrames de líquidos contaminantes	7	Prestamos para adquirir la tecnología	3		
Afectación de la zona	1	Estrategias o alianzas	2		
Retorno de inversion	3	Costos de financiación	1		
Implementación de avances tecnologicos	2	Costos de producción de las nuevas tecnologías	2		
Diferenciación	2	Precio del dólar	4		
Soporte global	3	Precio del barril	4		
		Reforma tributaria	2		
		Terrorismo	4		
		Bajos precios	2		
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>Total</b>	<b>24</b>		

Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

### 3.1.6 Diagrama del Vector Estratégico

Figura 101 Diagrama del Vector Estratégico



Fuente: Pantalla de configuración y resultados software SWOT en Línea.

#### **4. ANÁLISIS FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL TIPO MULTIPUERTO**

Para analizar globalmente la viabilidad de un proyecto de ingeniería e incluso en otras áreas de aplicación, es necesario fuera de un análisis técnico, analizar si financieramente es viable o atractivo el proyecto.

Este aspecto es tan vital en un proyecto ya que si no se tienen los recursos para invertir, posibilidades de atraer inversionistas externos al proyecto, o incluso préstamos bancarios y relacionamientos comerciales, todo el estudio de ingeniería quedaría en papel y en simulaciones sin valor, no se podría materializar al final hacerse una realidad.

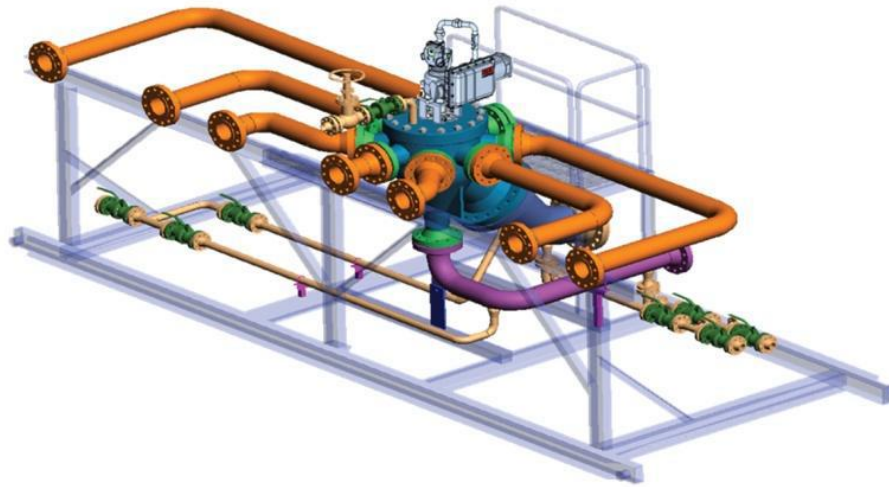
Lamentablemente muchos proyectos que se ven muy atractivos técnicamente, con muy bajos niveles de riesgo, financieramente no se pueden llevar a la realizar y todo se detiene.

En esta capítulo se va a realizar un análisis financiero, en donde se va a comparar el flujo de caja operacional de los dos casos durante un periodo de doce (12) meses.

En este análisis el cual es muy aproximado, se hace mucho énfasis en el tema de mantenimiento y cambio repetitivo de válvulas, factor diferenciador en relación a cuando se implementa la válvula de control de dirección de flujo tipo Multipuerto.

En los dos flujos de caja, se tuvieron presentes factores como, el precio del barril a U\$D 50, valor actual y promedio durante los últimos años. También se tuvieron presentes factores como impuestos e inversiones y costos iniciales de la implementación de la válvula de control de dirección de flujo tipo Multipuerto.

Figura 102 Esquema final de montaje de la válvula de control de dirección de flujo, tipo Multipuerto



Fuente: Brochure en línea Multiport Flow Selector<sup>21</sup>

---

21

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/DOC.6P.MFS.UK.pdf>

#### 4.1 Flujo de caja operación manifold tradicional

Tabla 3 Flujo de caja Manifold tradicional

FLUJO DE CAJA PARA MANIFOLD DE PRODUCCIÓN TRADICIONAL														
PARAMETRO	VALOR	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
DIAS		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
PRODUCCIÓN CRUDO		52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350
PRECIO BARRIL	\$50													
PRODUCCION AGUA		35430	35430	35430	35430	35430	35430	35430	35430	35430	35430	35430	35430	35430
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>
													<b>TOTAL</b>	<b>\$34.027.500</b>
PARAMETRO	VALOR	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
MANTENIMIENTO MANIFOLD		100	100	20000	100	100	20000	100	100	20000	100	100	20000	100
REPUESTOS		0	0	5000	0	0	5000	0	0	5000	0	0	5000	0
CAMBIO DE VALVULAS / ACCESORIOS		0	0	8000	0	0	8000	0	0	8000	0	0	8000	0
<b>EGRESOS TOTALES</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>33000</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>33000</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>33000</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>33000</b>	<b>100</b>
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$2.617.400	\$2.617.400	\$2.584.500	\$2.617.400	\$2.617.400	\$2.584.500	\$2.617.400	\$2.617.400	\$2.584.500	\$2.617.400	\$2.617.400	\$2.584.500	\$2.617.400
IMPUESTO DE RENTA 34% (2017)		\$889.916	\$889.916	\$878.730	\$889.916	\$889.916	\$878.730	\$889.916	\$889.916	\$878.730	\$889.916	\$889.916	\$878.730	\$889.916
INVERSION MANIFOLD		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>		<b>\$1.727.484</b>	<b>\$1.727.484</b>	<b>\$1.705.770</b>	<b>\$1.727.484</b>	<b>\$1.727.484</b>	<b>\$1.705.770</b>	<b>\$1.727.484</b>	<b>\$1.727.484</b>	<b>\$1.705.770</b>	<b>\$1.727.484</b>	<b>\$1.727.484</b>	<b>\$1.705.770</b>	<b>\$1.727.484</b>
<b>FLUJO DE CAJA ACUMULADO</b>		<b>\$1.727.484</b>	<b>\$3.454.968</b>	<b>\$5.160.738</b>	<b>\$6.888.222</b>	<b>\$8.615.706</b>	<b>\$10.321.476</b>	<b>\$12.048.960</b>	<b>\$13.776.444</b>	<b>\$15.482.214</b>	<b>\$17.209.698</b>	<b>\$18.937.182</b>	<b>\$20.642.952</b>	<b>\$22.370.436</b>

## 4.2 Flujo de caja operación sistema con la válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto

Tabla 4 Flujo de caja con la implementación de la válvula Multipuerto

FLUJO DE CAJA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN VALVULA MULTIPUERTO														
PARAMETRO	VALOR	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
DIAS		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
PRODUCCIÓN CRUDO		52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350	52350
PRECIO BARRIL	\$50													
PRODUCCION AGUA		35430												
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>	<b>\$2.617.500</b>
													<b>TOTAL</b>	<b>\$34.027.500</b>
PARAMETRO	VALOR	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
MANTENIMIENTO VÁLVULA MULTIPUERTO		0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0
REPUESTOS		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMBIO DE ACCESORIOS		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>EGRESOS TOTALES</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>500</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>500</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>500</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>500</b>	<b>0</b>
DEPRECIACIÓN														
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$2.617.500	\$2.617.500	\$2.617.000	\$2.617.500	\$2.617.500	\$2.617.000	\$2.617.500	\$2.617.500	\$2.617.000	\$2.617.500	\$2.617.500	\$2.617.000	\$2.617.500
IMPUESTO DE RENTA 34% (2017)		\$889.950	\$889.950	\$889.780	\$889.950	\$889.950	\$889.780	\$889.950	\$889.950	\$889.780	\$889.950	\$889.950	\$889.780	\$889.950
INVERSION VÁLVULA MULTIPUERTO	250000	-250000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INVERSIÓN ADECUACIÓN	150000	-150000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>		<b>\$1.327.550</b>	<b>\$1.727.550</b>	<b>\$1.727.220</b>	<b>\$1.727.550</b>	<b>\$1.727.550</b>	<b>\$1.727.220</b>	<b>\$1.727.550</b>	<b>\$1.727.550</b>	<b>\$1.727.220</b>	<b>\$1.727.550</b>	<b>\$1.727.550</b>	<b>\$1.727.220</b>	<b>\$1.727.550</b>
<b>FLUJO DE CAJA ACUMULADO</b>		<b>\$1.327.550</b>	<b>\$3.055.100</b>	<b>\$4.782.320</b>	<b>\$6.509.870</b>	<b>\$8.237.420</b>	<b>\$9.964.640</b>	<b>\$11.692.190</b>	<b>\$13.419.740</b>	<b>\$15.146.960</b>	<b>\$16.874.510</b>	<b>\$18.602.060</b>	<b>\$20.329.280</b>	<b>\$22.056.830</b>

En las anteriores tablas se puede observar el flujo de caja tanto del sistema tradicional, como del sistema con la válvula de control implementada en la operación.

Como se puede observar se tuvieron presentes factores, como el precio del barril, impuestos e inversiones.

Se realizó la aproximación a algunos valores, manteniéndolos estables durante el periodo de tiempo escogido de doce (12) meses, o un año.

Los valores que se mantuvieron estables durante el periodo de tiempo, fueron el precio del barril de petróleo y la producción de los seis (6) pozos productores.

El valor de mantenimiento, es un valor global que incluye factores como:

- Mano de obra certificada
- Alquiler o compra de herramienta
- Procedimientos especiales de mantenimiento e inspección
- Certificaciones para poder operar de acuerdo a los procedimientos de la compañía, entre otros.

Haciendo un análisis de los resultados que se logran obtener por medio de los flujos de caja, podemos concluir solamente por medio de los costos asociados al mantenimiento lo siguiente.

Los costos de mantenimiento del manifold tradicional en un periodo de doce (12) meses o un (1) año, es de U\$D 132.900.

Los costos de adquirir la válvula y de realizar toda la implementación de la misma en un sistema tradicional es de U\$D 400.00.

Analizando el flujo de caja y teniendo solo en cuenta el factor de mantenimiento, el retorno de inversión de la nueva tecnología es de solo tres (3) años. Luego de este tiempo, el rubro de mantenimiento se disminuye drásticamente, generando un ahorro u obteniendo mejores resultados en las utilidades de la operación del campo.

Analizando un caso real de implementación de un sistema de válvulas multipuerto, el fabricante de la válvula Emerson Bettis ®, logra obtener un gran ahorro en el Capex del proyecto.

El análisis es el resultado de un estudio detallado del flujo de caja de implementar los dos proyectos. Al final el resultado es un ahorro en el CAPEX del proyecto.

Tabla 5 Tabla 5. Comparación costos totales de implementación del sistema tradicional Vs. Nueva tecnología.

ANÁLISIS PARA POZO DULCE					
		QTY	UNIT PRICE (USD)	TOTAL PRICE (USD)	AHORRO EN CAPEX
1	SKID COMPLETO CON LA INTEGRACIÓN DE UNA VÁLVULA MULTIPUERTO DE 6" X 16", ANSI 1500	10	\$237.800	\$2.378.000	\$3.639.000
2	MANIFOLD COMPLETO CONVENCIONAL 6" X 1500	10	\$601.700	\$6.017.000	

Fuente: Brochure en Línea, Emerson Process <sup>22</sup>

El ahorro en el CAPEX del proyecto, como se puede observar es muy interesante para el desarrollo y análisis financiero.

Con el análisis de los flujos de caja desarrollados y con este caso puntual, se puede concluir desde el área financiera, que el implementar la válvula multipuerto es un proyecto altamente rentable y atractivo, ya que con solo el rubro de mantenimiento del manifold tradicional, todo el sistema retorna la inversión en solo tres (3) años.

El retorno de inversión en solo tres (3) años, hace que el proyecto sea de muy alto interés, ya que si se logra dirigir recursos provenientes de las utilidades, se podrá pagar el sistema en menor tiempo, haciendo aún mas atractivo para los inversionistas.

---

22

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/DOC.6P.MFS.UK.pdf>

## 5. CONCLUSIONES

Luego de realizar un estudio bibliográfico, un análisis técnico muy detallado del comportamiento del sistema al implementar la válvula multipuerto y, al realizar un análisis de las diferentes variables que pueden llegar a afectar tanto negativamente como positivamente, la implementación de la válvula de control de dirección de flujo tipo multipuerto, en un campo de producción y un análisis financiero, el cual analiza la viabilidad del proyecto desde un punto económico y financiero.

Luego de realizar un estudio bibliográfico y un análisis técnico muy detallado del comportamiento del sistema, al implementar la válvula de control multipuerto, se puede concluir que migrar los sistemas actuales de producción a esta tecnología, tiene una alta viabilidad técnica y financiera, ya que los costos operacionales se reducen importatemente y en terminos de operación y control, las ventajas que esta tecnología puede aportar son muchas.

Luego de todos estos análisis, se puede concluir que el proyecto es altamente atractivo para los inversionistas o para la compañía que desea hacer el estudio y la implementación del mismo, ya que se tiene un bajo nivel de riesgos asociados, un corto tiempo de retorno de la inversión y luego de generar el retorno completo de la inversión, se presenta un flujo de caja muy atractivo, el cual puede ser utilizado como ahorro o para elevar los resultados y utilidades de la compañía productora.

Los beneficios operacionales y técnicos son muy importantes para el proceso, en temas de controlabilidad, aumento en los índices de seguridad para el personal operativo en campo, mejora en los indicadores de confiabilidad y disponibilidad del sistema de producción.

También se presentan mejoras en términos de reducción de puntos de fallas, los cuales pueden no solo afectar la producción si no, afectaciones en términos ambientales en la zona de implementación.

También se presentan mejoras en términos de reducción de puntos de fallas, ya que esta válvula de alta tecnología, esta diseñada para operar bajo condiciones severas y los puntos de fallas en comparacion con el sistema tradicional se reduce en un gran porcentaje. Unas de las grandes mejoras que puede presentar esta válvula, es que la probabilidad de presentarsen fugas al ambiente son muy bajas, gracias a su diseño e implementacion de materiales especiales en sus sello.

La tecnología busca mejorar las condiciones de operación y la seguridad de las personas y del medio que lo rodea. Esta válvula al ser un equipo tecnológico de punta, busca la seguridad, comodidad y bienestar del personal operativo del campo. Como esta válvula ya tiene incorporado en su actuador, no solamente un

elemento motriz, si no un modulo electrónico el cual puede generar autodiagnósticos, permite una comunicación en tiempo real y transmisión de datos simultáneamente con el cuarto de control.

Con esta válvula, al poderse monitorear en tiempo real en todo momento, la necesidad de trasladarse al sitio se reduce dramáticamente, generando seguridad y un menor esfuerzo para poder realizar maniobras operativas, las cuales en un pasado se deberían desarrollar manualmente y con una comunicación con los operadores muy precaria, solamente por medio de un radio de comunicación.

En la actualidad con esta tecnología, simplemente se puede pasar de un modo de operación al otro, por medio de una pantalla de proceso y un botón actuador en esta. Teniendo de inmediato toda la información y visualización en tiempo real del proceso y del equipo.

En el análisis de riesgos del proyecto, se analizaron factores positivos y negativos pero al final el resultado es muy favorable.

En el análisis de riesgos del proyecto, se analizaron factores positivos y negativos, por ejemplo se analizaron condiciones del entorno, de la operación del sistema trayendo mejoras en la operación, reduciendo riesgos ambientales y por ende legales y económicos.

Una gran desventaja que se tiene en estos momentos, es el bajo precio del barril del crudo y la alta incertidumbre que se tiene en el entorno de la estabilidad de precio de este, general que las inversiones de esta clase de tecnologías, no sean de gran importancia.

La implementación de esta tecnología tiene mayores beneficios que los riesgos que se pueden presentar, los cuales al analizar de fondo, son factores del entorno y algunos económicos, en los cuales el control que se puede tener en estos es muy bajo.

En este trabajo de grado, se logra realizar un análisis detallado desde diferentes puntos de aplicación e intervención del proyecto. En cada uno de los capítulos que se desarrollaron, se encuentra un factor crítico de análisis apuntando todos, a que el proyecto es de alta viabilidad técnica y económica.

## 6. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de esta tecnología en campos de producción en desarrollo, ya que va permitir tener grandes ahorros operacionales y mejorar el control sobre diferentes variables que con el sistema tradicional no se podría.
2. Para campos de producción de crupo pesado, que en la actualidad ya son la gran mayoría en nuestro país, esta tecnología podría ser muy bien implementada, ya que al no generar grandes pérdidas de energía en las tuberías, accesorios o al interior de las válvulas convencionales, el flujo, la presión y por ende el transporte de crudo pesado, sería más eficiente, desde los cabezales de pozo hasta la estación de producción.
3. La válvula al tener como actuador, un sistema electrónico de comunicación de última tecnología, adaptable a los diferentes protocolos de comunicación que se encuentran actualmente en los campos, se presenta la posibilidad de tener diagnóstico en tiempo real del sistema, lo cual es altamente recomendable para la operación.
4. En términos económicos, la inversión al inicio puede ser alta en relación al sistema tradicional, pero el retorno de inversión solo con los costos de mantenimiento y operativos, hacen que este sistema retorne en un tiempo muy corto la inversión. Se recomienda realizar un análisis financiero más detallado y con otros métodos, para así analizar más variables que con el método utilizado en este trabajo de grado no haya tenido presente.
5. Se recomienda el desarrollo de un análisis más detallado, por medio de otro software especializado, que tenga una mayor capacidad de análisis en simulación de líneas hidráulicas.

## BIBLIOGRAFIA

- Chaintanya , S. and Prathesh , S. Well Tested, Emerson reveals how the multiport flow selectors (MPFS) in Oil and Gas applications can improve production testing and reservoir management. En Oil & Gas Middle East, February 13 2013, 65-67 p
- EMERSON. Control Valve Handbook [En línea]. [Consultado el 15 de enero de 2017]. Disponible en:  
<http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/book/cvh99.pdf>.
- EMERSON. What if you could improve the quality of data and increase production through an integrated well testing skid with a smaller footprint? [En línea]. [Consultado el 15 de enero de 2017]. Disponible en:  
[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/Total\\_Integrated\\_Solutions\\_GBL.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/Total_Integrated_Solutions_GBL.pdf).
- EMERSON. Válvula desviadora multicanal. [En línea]. [Consultado el 15 de enero de 2017]. Disponible en:

[http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/valvula-desviadora-multicanal-11922-6636905.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/valvula-desviadora-multicanal-11922-6636905.jpg).

- EMERSON. Valve Automation. [En línea]. [Consultado el 15 de enero de 2017]. Disponible en:  
<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Valve%20Automation%20Documents/Bettis/Brochure/DOC.6P.MFS.UK.pdf>.