

11474
6
24

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

ANALISIS NODAL EN BATERIAS DE
SEPARACION

JAIRO IGNACIO MANTILLA TREJOS

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA
(P E T R O L E R A)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CIUDAD UNIVERSITARIA - JUNIO DE 1990



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INTRODUCCION

Al referirnos a instalaciones de producción como la interrelación de subsistemas de separación, conducción, almacenamiento y transferencia de fluidos, resulta obvio considerar que un adecuado control de la producción estará directamente relacionado con un apropiado dimensionamiento de los elementos que constituyen cada uno de estos subsistemas.

En virtud de tal correspondencia, si se desea llevar a cabo el análisis global del sistema será necesario cuantificar el efecto de cada uno de tales elementos tanto en el sistema como un todo, como con cada uno de los otros subsistemas.

Desde el punto de vista de la operación de instalaciones de producción, lo anterior tiene connotaciones importantes en relación con su funcionamiento. En otras palabras, si partimos de una unidad en operación, si bien resulta poco probable modificar los elementos que le conforman, sí es perfectamente factible observar, en primera instancia, cuál es la influencia de estos elementos para lograr un proceso adecuado (sin cuellos de botella) y en segunda como va a ser el comportamiento del sistema ante la variación de algunos parámetros previamente fijados. Lo anterior, además de validar la instalación , permite medir tanto su capacidad de respuesta como su flexibilidad a operar bajo condiciones que pueden ser considerablemente diferentes de las de diseño.

Naturalmente, poder predecir el comportamiento inmediato de la instalación significa actuar dentro de ciertos límites de seguridad como de operatividad, lo que de alguna manera conlleva el concepto de control en el proceso de separación, en especial si consideramos que en ocasiones la actividad de diseño a menudo se tiene que basar en

información limitada, que hace que, aún en el mejor de los casos, sea probable que la composición de la corriente del pozo, la relación gas aceite, o las condiciones fluyentes de temperatura y presión sean diferentes a las predichas a medida que el yacimiento se depresiona, variables que de ser cuantificadas pueden ayudar a definir la operación actual de la batería.

El presente trabajo utiliza el concepto de análisis mediante nodos y conectores y lo aplica en la simulación de condiciones de operación de baterías de separación. Permite además, una vez establecidas aquellas, detectar cuál es la sensibilidad de algunas de las variables del sistema, a variaciones en algunos de los datos iniciales. La información que puede obtenerse de aplicar el análisis de sensibilidad sobre parámetros fijos en el modelo, está relacionada con la estimación de la nueva respuesta que se tendría si se procediese a modificarlos (aquellos parámetros) y de nuevo balancear las ecuaciones nodales.

Ahora bien; la aproximación de la simulación al comportamiento real está sujeta a las diferencias existentes entre los modelos de flujo y las condiciones de separación consideradas en el análisis teórico, y lo que realmente está ocurriendo en el proceso, además es función de la cantidad de elementos constitutivos de la unidad de separación que estén involucrados en el sistema a analizar, lo que supone la elección de sistemas más o menos complejos y por tanto resultados más o menos aproximados. En el caso presente, utilizamos los elementos que hemos estimado básicos para lograr visualizar grosso modo el proceso; esto es; separadores, líneas de descarga de aceite y gas, válvulas de control de presión y nivel, compresoras y bombas.

RECONOCIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a todo el personal docente y administrativo de la Sección de Petrolera de la División de Estudios de Posgrado.

Para el M.I. Francisco Sanchez Arredondo, director del presente trabajo y catedrático del área de producción, por sus acertadas indicaciones y su colaboración abierta y desinteresada en mi formación.

CONTENIDO

	Página
Resumen	ii
Introducción	iii
Reconocimientos	v
Nomenclatura	viii

CAPITULO

1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE TRANSPORTE Y SEPARACION

- 1.1 Consideraciones Generales
- 1.2 Líneas de descarga de Aceite y Gas
- 1.3 Válvulas de Control de Presión y Nivel
- 1.4 Requerimientos de Potencia
 - 1.4.1 Introducción
 - 1.4.2 En Bombas
 - 1.4.3 En Compresoras
- 1.5 Dimensionamiento de Separadores
 - 1.5.1 Introducción
 - 1.5.2 Velocidad de Asentamiento
 - 1.5.3 Separadores Horizontales
 - 1.5.3 Separadores Verticales

2 MODELO PROPUESTO

- 2.1 Fundamentos Teóricos

2.2	Método de Solución
2.3	Análisis de Sensibilidad
3	PROCEDIMIENTO DE SOLUCION
4	APLICACION A UN CASO REAL
5	ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES
APENDICE A	TEORIA Y CALCULOS COMPLEMENTARIOS
APENDICE B	FIGURAS Y TABLAS
APENDICE C	RESULTADOS DEL PROGRAMA
REFERENCIAS	

NOMENCLATURA

<u>Simbolo</u>	<u>Descripción</u>
C	Matriz de derivadas de variables sensibles
D	Vector de incógnitas de sensibilidad
ΔS_i^{k+1}	Corrección a la incógnita i en iteración k+1
ECN	Elementos que conectan nodos
F _i	Suma algebraica de gastos que convergen y salen del nodo i
J	Matriz de derivadas del sistema
NN	Número de Nodos
NVD	Número de variables de Sensibilidad
S_i^{k+1}	Valor de la incógnita i en la iteración k+1
S	Vector de incógnitas del sistema
SHAP	Separador horizontal de alta
SHBP	Separador Horizontal de baja
RVAP	Rectificador primario de alta
RCAP	Rectificador secundario de alta
RVBP	Rectificador primario de baja
RCBP	Rectificador secundario de baja
SHEBP	Separador horizontal elevado de baja
TB	Trampa neumática
S3F	Separador trifásico
TNBP	Tanque de baja
MB	Bombas
RV	Compresoras

CAPITULO 1

DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE TRANSPORTE Y SEPARACION

1.1 Consideraciones Generales

La ingeniería básica de diseño de una batería de separación comprende fundamentalmente los siguientes aspectos:

- Dimensionamiento de válvulas
- Dimensionamiento de tuberías
- Dimensionamiento de conexiones en general
- Dimensionamiento de Separadores

los modelos utilizados en estos elementos para solucionar el problema de flujo de fluidos, emplean ecuaciones de uso generalizado que pueden considerarse apropiadas en la simulación de las condiciones de los problemas analizados.

Existen cuatro subsistemas principales de proceso en las instalaciones de separación: 1.- Recolección, 2.-Separación Tratamiento y Medición, 3.-Almacenamiento y 4.-Transferencia. La recolección se realiza mediante un colector o múltiple de recolección donde convergen las líneas de descarga de los pozos productores. Se caracteriza por el transporte de fluidos en condiciones de flujo multifásico. En la separación se dividen las corrientes de tal manera que las etapas subsiguientes manejan condiciones de flujo en una sola fase.

Adicionalmente, existe un número considerable de válvulas, algunas como dispositivos de control, que permiten que el sistema opere con cierta flexibilidad y precisión y donde el conocimiento que tengamos de su resistencia al flujo de fluidos permitirá determinar las características de flujo del sistema completo de tuberías.

1.2 Lineas de descarga de Aceite y Gas

Desde el punto de vista del diseño, las líneas de alimentación y descarga de mayor interés son:

- De alimentación del colector a los separadores
- De Gas
 - Descarga de gas de separadores
 - De recolección de gas
- De Aceite
 - Descarga de los separadores a líneas colectoras
 - De aceite del colector al tanque de almacenamiento
 - De recolección de aceite
- De alimentación a bombas de transferencia.

1.2.1 Lineas de Aceite.

La ecuación que modela el flujo de aceite a través de una línea se deriva haciendo uso del principio de conservación de la energía. Se conoce como ecuación de Darcy-Weisbach y supone lo siguiente:

- Cambio de energía cinética despreciable
- Flujo en régimen permanente e isotérmico
- Flujo horizontal y diámetro constante
- No hay transferencia de calor con los alrededores ni viceversa
- No se efectúa trabajo mecánico por parte del fluido
- Caída de presión positiva en la dirección del flujo.

La expresión final, en unidades de campo y en términos del gasto, es como sigue:

$$Q_{l j} = \left[\frac{(P_i - P_j) D^5}{0.000216 f L \rho} \right]^{0.5} \quad (1.1)$$

Donde: $P_i - P_j$ = Caída de presión (Psi)

f = Factor de fricción

L = Longitud de la tubería (Pies)

D = Diámetro interior (Pulgadas)

Q = Gasto de líquido (Gal/min)

ρ = Densidad del líquido (lb/Pie³)

o bien, considerando flujo másico

$$Q_{l j} = 2.228 \cdot 10^{-3} \rho^{0.5} \left[\frac{(P_i - P_j) D^5}{0.000216 f L} \right]^{0.5} \quad (1.2)$$

donde $Q_{l j}$ está en Lb/seg.

1.2.2 Líneas de Gas.

Atendiendo a que normalmente las líneas de gas en una batería de separación son menores de 15 pulgadas se utiliza la ecuación de Weymouth ⁽⁷⁾. Se deduce a partir del balance de energía entre dos puntos y supone lo mismo que en el caso de líneas de aceite. La expresión en términos del gasto es la siguiente:

$$Q_{l j} = 18.082 \frac{T_b}{P_b} \left[\frac{(P_i^2 - P_j^2) D^{16/3}}{S G Z T_f L} \right]^{0.5} \quad (1.3)$$

donde: $Q_{l j}$ = Gasto de gas a T_b y P_b (Pie³/hr)

D = Diámetro interior (Pulgadas)
 L = Longitud de la línea (millas)
 P_i = Presión de entrada (Psia)
 P_j = Presión de salida (Psia)
 P_b = Presión atmosférica o básica (Psia)
 T_b = Temperatura atmosférica o básica (°R)
 SG = Densidad relativa del gas (Aire = 1.0)
 T_f = Temperatura de flujo (°R)
 Z = Factor de compresibilidad evaluado a condiciones medias.

o bien en términos de flujo másico;

$$Q_{LJ} = 3.83326 \cdot 10^{-4} \frac{T_b}{P_b} SG^{0.5} \left[\frac{(P_i^2 - P_j^2) D^{16/3}}{T_f L Z} \right]^{0.5}$$

(1.4)

donde el gasto está en Lb/seg.

1.3 Válvulas de Control de Presión y Nivel

Dentro del control del proceso de separación, es función de las válvulas mantener algunas variables de proceso (Presión o nivel) sin cambios sensibles, independientemente de los cambios de carga a que se encuentre sujeto el proceso, denominando al cambio de carga como el porcentaje de apertura de la válvula de control. Las válvulas actúan como una resistencia variable, provocando una caída de presión ante un cambio en las condiciones de flujo preestablecidas.

En el dimensionamiento de una válvula de control existen factores inherentes a datos de flujo, datos del fluido, tipo de fluido, influencia de la tubería y el sistema, tipo de válvula y cálculos de dimensionamiento, (8) cuyo manejo con criterio y experiencia va a permitir una adecuada selección.

1.3.1 Fluidos Incompresibles.

La ecuación fundamental que gobierna el comportamiento de fluidos en movimiento se basa en el principio de la conservación de energía y continuidad. En general, la ecuación resultante se expresa de la forma:

$$Ql = Fp Fr Cv \left[\frac{P_i - P_j}{SGL} \right]^{0.5} \quad (1.5)$$

en la que se involucran pérdidas debidas a la geometría de la tubería (Fp) y por Fricción (Fr)⁽⁹⁾ y donde :

Ql = Gasto de líquido (gpm)

Fp = Factor de corrección por tubería en la vecindad de la válvula

Fr = Factor de corrección por Reynolds

Cv = Coeficiente de la válvula ó Coeficiente de caudal

Pi-Pj = Caída de presión (Psi)

SGL = Densidad relativa del líquido.

El factor de corrección Fr puede determinarse de la figura B-1. Se puede observar que para valores de Nre mayores de 33000 el

factor de corrección se hace la unidad. En caso de no existir reductores o expansores antes de la válvula F_p también sería la unidad, por lo que en el caso más general tendríamos:

$$Q_l = C_v \left[\frac{P_i - P_j}{SGL} \right]^{0.5} \quad (1.6)$$

o bien;

$$Q_l = 2.228 \cdot 10^{-3} \rho C_v F_p F_r \left[\frac{P_i - P_j}{SGL} \right]^{0.5} \quad (1.7)$$

donde Q_l (Lb/seg)

ρ (Lb/Pie³)

1.3.2 Fluidos Compresibles.

Puesto que los gases se expanden al existir una caída de presión, el resultado de pasar por la vena contracta de la válvula es la disminución de su densidad, la cual debe entonces considerarse en la fórmula para líquidos compresibles. En tal sentido se aplica un factor de expansión Y que es función de la relación de caída de presión a la presión absoluta de entrada, definido como X ($X = (P_i - P_j)/P_i$).

La expresión para el cálculo del factor de expansión es como sigue:

$$Y = 1 - 0.33 (X/F_k XT)$$

Donde XT se conoce como valor terminal y depende del tipo

de válvula y F_k como factor de relación de Calores específicos entre el gas y el aire.

Considerando que para gases se emplea generalmente gasto volumétrico y densidad relativa, e introduciendo el factor de expansión, la fórmula de dimensionamiento de válvulas para fluidos compresibles es como sigue ⁽⁹⁾ :

$$Q_g = 1380 C_v P_1 Y \left[\frac{(C P_1 - P_2)/P_1}{S_G T_1 Z} \right]^{0.5} \quad (1.8)$$

donde Q_g = Gasto de gas (Ple3/Hr a. c. s.)

P_1 = Presión absoluta de entrada (Psia)

Y = Factor de expansión

X = Relación de caída de presión a la presión absoluta de entrada.

S_G = Densidad relativa del gas (aire = 1.0)

T_1 = Temperatura absoluta de entrada (°R)

Z = Factor de compresibilidad a T_1 y P_1 .

o bien;

$$Q_g = 2.8862 \cdot 10^{-2} C_v P_1 Y S_G \left[\frac{(C P_1 - P_2)/P_1}{S_G T_1 Z} \right]^{0.5} \quad (1.9)$$

donde Q_g (Lb/seg).

Conviene precisar que, dependiendo del fabricante, se pueden manejar ecuaciones que involucren parámetros adicionales a los de la ecuación (1.9), obtenidos experimentalmente y por tanto con

aplicación específica. En general el modelo anterior permite dimensionar adecuadamente cualquier tipo de válvula de control de presión.

1.4 Requerimientos de Potencia

1.4.1 Introducción.

Los equipos de transferencia de aceite y gas son fundamentales en los objetivos de producción establecidos, en ocasiones pueden constituir el cuello de botella del proceso. Por tanto es de vital importancia el control de las condiciones operativas de las plantas de compresión y bombeo, mediante el seguimiento de la potencia entregada por los equipos. Las unidades generadoras de potencia utilizadas en los procesos de transporte son Bombas y Compresoras, de las cuales se expondrá brevemente:

1.4.2 En Bombas.

La potencia teórica necesaria para mover cierta cantidad de líquido contra una determinada carga se mide en unidades de potencia hidráulica y se expresa ⁽³⁾:

$$hp = \frac{Q \text{ h SGL}}{3960} \quad (1.10)$$

$$hp = \frac{Q (Pd - Ps)}{1715} \quad (1.11)$$

donde

hp = Potencia hidráulica teórica

h = Carga total (Pies)

Q = Capacidad de la bomba (gpm)

Pd = Presión de descarga (Psi)

Ps = Presión de succión (Psi)

SGL = Densidad relativa del líquido.

Para el caso de bombas de émbolo se manejan valores de eficiencia del 80 a 95% y en bombas centrifugas entre 70 y 85%. Tomando en cuenta lo anterior, las ecuaciones empleadas para calcular la potencia al freno, son las siguientes:

$$\text{bhp} = \frac{Q h \text{ SGL}}{3960 E} \quad (1.12)$$

$$\text{bhp} = \frac{Q (P_d - P_s)}{1715 E} \quad (1.13)$$

o bien despejando en función del gasto másico

$$Q = \frac{3.821 \rho \text{ bhp } E}{P_d - P_s} \quad (1.14)$$

donde Q = Gasto másico (lb/seg)

ρ = Densidad del líquido (lb/Pie³)

E = Eficiencia de la bomba

bhp = Potencia al freno

1.4.3 En Compresoras

En la industria la mayor parte de los compresores se aproximan a la operación adiabática, por lo cual incluiremos para

su análisis la ecuación respectiva; específicamente la que emplea el volumen de entrada referido a condiciones estandar (7) (12) :

$$hp = 0.08531 Q Ts \frac{k}{k-1} \left[R_c^{Zs \frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (1.15)$$

donde

- hp = Potencia teórica
- Q = MMSCFD
- Ts = Temperatura de succión (°R)
- R_c = Relación de compresión (Presiones Psi)
- Zs = Factor de compresibilidad a cond. succión
- k = Cp/Cv a cond. succión

o en función del gasto másico (lb/seg)

$$Q = \frac{10.385 hp SGL}{Ts \frac{k}{k-1} \left[R_c^{Zs \frac{k-1}{k}} - 1 \right]} \quad (1.16)$$

1.5 Dimensionamiento de Separadores

1.5.1 Introducción.

El separador constituye el elemento medular de la instalación de separación. La eficiencia de su operación incide directamente en el comportamiento de las otras unidades involucradas. Por tal razón se contempla el diagnóstico de su funcionamiento, mediante la comparación de las cargas que

soportan en los sistemas reales analizados y los gastos teóricos resultados de aplicar las ecuaciones de dimensionamiento. Asimismo se evalúan conceptos relacionados con la velocidad de asentamiento de las partículas de líquido en la sección secundaria y la velocidad del gas, los cuales ilustran respecto de la calidad en la separación de los efluentes .

1.5.2 Velocidad de Asentamiento.

La velocidad de asentamiento de las pequeñas gotas será el resultado de la interacción de la fuerzas de gravedad y flotación con la fuerza de arrastre causada por el movimiento de la fase continua (gas). Teniendo en cuenta que esta región se caracteriza por presentar flujo turbulento, el coeficiente de arrastre C_D estará dado por ⁽⁵⁾:

$$C_D = (24/Re) + (3/Re) + 0.34 \dots\dots\dots(1.17)$$

donde Re = Número de Reynolds.

mientras que del equilibrio de fuerzas mencionadas se evalúa la velocidad de asentamiento V_t :

$$V_t = 0.0119 [(dm/C_D)((\rho_l - \rho_g)/\rho_g)]^{0.5} \dots\dots\dots(1.18)$$

- donde V_t = Velocidad de asentamiento terminal del
la partícula (Pie/Seg)
- dm = Diámetro de la partícula (Micras)
- ρ_l = Densidad del líquido (Lb/Pie³)
- ρ_g = Densidad del gas a P y T de Separación
(lb/Pie³)

El procedimiento de solución de las ecuaciones 1.17 y 1.18 es iterativo:

- Suponer un valor de C_D de 0.34 y calcular un valor inicial de V_t mediante la ecuación 1.18. (Para nuestros propósitos considerar un diámetro de partícula de 100 micras).
- Calcular Reynolds :

$$Re = 0.0049 (\rho_g \text{ dm } V_t / \mu_g) \dots\dots\dots(1.19)$$

donde μ_g = Viscosidad del gas a P y T de Separación
(Centipoise)

- Calcular C_D utilizando 1.17
- Recalcular V_t mediante 1.18
- Comparar V_t hasta convergencia.

1.5.3 Separadores Horizontales.

Capacidad de Separación de gas.

En el caso que vamos a considerar (Separadores horizontales bifásicos), tendremos presente la teoría que supone:

- Que la trayectoria de la partícula en la sección secundaria del separador forma un ángulo de 45 grados respecto a la horizontal y
- Que la longitud de la sección secundaria de separación, es igual a dos veces la diferencia entre el diámetro interior y la altura del nivel del líquido.

Con base en tales premisas se desarrollan las ecuaciones para el área de flujo de gas y en consecuencia el gasto de gas a manejar por el separador. (Por no ser tema del presente trabajo no se incluye el desarrollo pormenorizado de las ecuaciones).

$$A_f = \frac{\pi D_i}{4} \left[1 - \frac{\arcsin[1-2H/D_i]}{180} \right] + (D_i H - H^2)^{0.5} (D_i/2 - H) \dots\dots\dots(1.20)$$

la cuál establece el cálculo del área disponible al flujo de gas como una función de la altura de líquido y el diámetro interior del separador, y donde

- A_f = área de flujo al gas (Pies²)
- D_i = diámetro interior (Pies)
- H = altura del líquido (pies)

Para un diámetro de partícula de 100 micras la expresión del gasto de gas a condiciones estandar va a ser:

$$Q_{ges} = 0.8312 \frac{P_f}{Z_f T_f} \left(\frac{\rho_p - \rho_g}{\mu_g} \right) A_f \dots\dots\dots(1.21)$$

donde Q_{ges} = Gasto de gas MMpcsd

P_f = Presión de separación (Psia)

Z_f = Factor de Compresibilidad a C.F.

μ_g = Viscosidad del gas a C.F. (lb/pie-Seg)

ρ_g, ρ_p = Densidad del gas y del líquido respectivamente a C.F. (lb/Pie³)

- Capacidad de Separación de Líquidos.

Considerando el área de flujo disponible para el gas, el gasto de líquido a C.S. será:

$$Q_{sl} = 256.474 ((\pi D_i^2/4) - A_f) L / B_o \theta_r \dots\dots\dots(1.22)$$

donde Q_{sl} = Gasto de liquido (B/d)
 D_i = Diámetro del Separador (Pies)
 L = Longitud del separador (Pies)
 θ_r = Tiempo de retención (Min)
 B_o = Factor de volumen (pie³/B)

- Velocidad del Gas.

La velocidad del gas a condiciones de flujo en el separador horizontal será:

$$V_g = Q_{gcf} / A_f \dots\dots\dots(1.23)$$

de la aplicación de la ley de los gases;

$$Q_{gcf} = 0.327 T_f Z_f Q_{gcs} / P_f \dots\dots\dots(1.24)$$

donde Q_{gcf} = gasto a C.F.
 Q_{gcs} = gasto a C.E.

de donde reemplazando (1.23) en (1.24)

$$V_g = 3.2719 \cdot 10^{-7} T_f Z_f Q_{gcs} / P_f A_f \dots\dots\dots(1.25)$$

donde V_g = Velocidad del gas a C.F. (Pie/Seg)
 Q_{gcs} = Gasto de gas (pie³/d)

1.5.4 Separadores Verticales

Capacidad de Separación de gas.

Con toda el área transversal del recipiente disponible

al flujo de gas, el gasto será función de la velocidad y del área (de nuevo considerando un diámetro de partícula de 100 micras):

$$Q_{gcs} = 0.4818 \frac{P_f (\rho_p - \rho_g) D^2}{Z_f T_f \mu_g} \dots\dots\dots (1.26)$$

donde Q_{gcs} = Gasto de gas a C.S. (MMpsd)
 μ_g = Viscosidad del gas (Lb/ple-Seg)

Capacidad de Separación de Líquidos.

Este cálculo es deducido del volumen ocupado por el líquido (Área por altura) y el tiempo de retención del aceite en el recipiente, afectado por el factor de volumen del aceite para referirlo a C.E.

$$Q_{sl} = 201.42 \frac{(h/D) D^3}{Bo \theta_r} \dots\dots\dots (1.27)$$

Q_{sl} = Gasto de líquido a C.S. (BL/D)
 h/D = Nivel de aceite respecto al diámetro
 D = Diámetro (Pg)
 Bo = Factor de volumen del aceite
 θ_r = Tiempo de retención (min)

- Velocidad del Gas

Como en el caso de Separadores horizontales

$$V_g = Q_{gcf} / A_f$$

El tratamiento será nuevamente a partir de la ley de los gases,

con la diferencia respecto de separadores horizontales que el área disponible al flujo de gas será el área transversal. Por tanto:

$$V_g = \frac{4.1645 \cdot 10^{-7} \cdot Z_f \cdot T_f \cdot Q_{gcs}}{P_f \cdot D^2} \dots\dots\dots C1.203$$

donde V_g = Velocidad del gas (Pie/Seg)

Q_{gcs} = Gasto de gas Pie³/d.

CAPITULO 2

MODELO PROPUESTO

2.1 Fundamentos Teóricos

El método utilizado en el planteamiento del modelo matemático para un sistema de separación en régimen permanente, acude a la teoría presentada por Stoner⁽²⁾ y globaliza el análisis para el manejo de corrientes de gas y líquido. Con tales elementos delinea un sistema que puede considerarse básico en la operación, constituido por separadores, válvulas de control de presión y nivel, equipos de compresión y bombeo y líneas de descarga de aceite y gas. Emplea el concepto de nodos como puntos de extracción o adición de masa al sistema, y de conectores como el conjunto de elementos que le dan continuidad.

Las ecuaciones matemáticas utilizadas en la representación de la relaciones flujo-presión para cada conector, fueron expuestas a detalle en el capítulo primero. Con base en ellas se estructura el prototipo del sistema en consideración. Las ecuaciones de balance de continuidad en cada nodo se expresan:

$$F_i = \sum_{j \in I(j)} q_{ij} + Q_i \quad (2.1)$$

$$i := 1, \dots, NN$$

Donde Q_i representa la adición o extracción de masa a través del nodo i , la que por convención es positiva si se adiciona o negativa si se extrae, mientras q_{ij} representa la suma algebraica

de los gastos de conectores adyacentes al nodo i , constituidos por las ecuaciones que modelan el flujo a través de estos.

Reemplazar las ecuaciones apropiadas en la ecuación (2.1), define un conjunto de NN ecuaciones no lineales, en las cuales se contabilizan variables la presión y el gasto en cada nodo o coeficientes de caudal en conectores y donde además, dada la naturaleza del análisis, los parámetros asociados a conectores, esto es; diámetros para tuberías, coeficientes de caudal para válvulas, potencia para compresoras y bombas, son valores fijos. De tal manera, las N ecuaciones que representan el modelo

$$F_i = f(P_i, Q_i) \quad (2.2)$$

tienen $2NN$ variables. Algunos de los parámetros en relación con los conectores (tal es el caso de potencias ,diámetros y longitud de tubería) serán objeto de análisis en el caso del diagnóstico de sensibilidad. Al igual que datos de gastos y presiones en los nodos.

En consecuencia, una solución del modelo se encuentra fijando valores para NN de estas variables, y resolviendo para las NN restantes. A este conjunto de incógnitas se le ha denominado S^1 .

2.2 Metodo de Solución

En la solución del sistema no lineal se utiliza el método de Newton-Raphson. Para el caso que nos ocupa, los términos del vector S estarán conformados por combinación de presiones y gastos en los nodos o coeficientes de válvulas en los conectores, con la condición que las ecuaciones resultantes sean linealmente independientes.

¹ Se ha preservado la notación utilizada según referencia (2).

En nuestro problema $F_1 = (S_1, S_2, \dots, S_{NN})$, en el que el valor de las incógnitas se va determinando por valores de corrección que el método proporciona en cada iteración:

$$S_i^{k+1} = S_i^k + \Delta S_i^{k+1}$$

$$i = 1 \dots NN \quad (2.3)$$

y donde el valor de ΔS_i se obtiene del sistema de ecuaciones lineales;

$$\sum_{i=1}^{NN} \frac{\delta F_j}{\delta S_i} \Delta S_i = -F_j(S_1, S_2, \dots, S_{NN})$$

$$j = 1 \dots NN \quad (2.4)$$

El cuál puede ser resuelto para ΔS_i una vez evaluados F_j y $\delta F_j / \delta S_i$.

La aplicación reiterada de la ecuación (2.4) reduce el balance másico hasta cierto valor por debajo de una tolerancia adecuada y proporciona la solución balanceada del modelo.

Las derivadas parciales para el modelo en cuestión se obtienen de la siguiente manera:

Válvula de Control de Nivel:

$$\frac{\delta F}{\delta P_1} = - \frac{\delta F}{\delta F_j} = 0.5 * \text{Const} * (P_1 - P_j)^{-0.5} \quad (2.5)$$

Válvula de Control de Presión:

$$\frac{\delta F}{\delta P_i} = 0.5 * \text{Cons2} * \left[P_i (P_i - P_j) \right]^{-0.5} (2P_i - P_j) \quad (2.6)$$

$$\frac{\delta F}{\delta P_j} = - 0.5 * \text{Cons2} * \left[P_i (P_i - P_j) \right]^{-0.5} P_i \quad (2.7)$$

Línea de Gas:

$$\frac{\delta F}{\delta P_i} = \text{Cons3} * \left[(P_i^2 - P_j^2) \right]^{-0.5} P_i \quad (2.8)$$

$$\frac{\delta F}{\delta P_j} = - \text{Cons3} * \left[(P_i^2 - P_j^2) \right]^{-0.5} P_j \quad (2.9)$$

Línea de Aceite:

$$\frac{\delta F}{\delta P_i} = - \frac{\delta F}{\delta P_j} = 0.5 * \text{Cons4} * \left[(P_i - P_j) \right]^{-0.5} \quad (2.10)$$

Compresoras:

$$\frac{\delta F}{\delta P_i} = \text{Cons5B} * \frac{\left[\frac{\text{Cns5A}}{P_i} (\text{Cons5C}) \text{Cons5A} \right]}{\left[(\text{Cons5C}) \text{Cons5A} - 1 \right]^2} \quad (2.11)$$

$$\frac{\delta F}{\delta P_j} = - \text{Cons5B} * \frac{\left[\frac{\text{Cns5A}}{P_j} (\text{Cons5C}) \text{Cons5A} \right]}{\left[(\text{Cons5C}) \text{Cons5A} - 1 \right]^2} \quad (2.12)$$

Bombas:

$$\frac{\delta F}{\delta P_i} = - \frac{\delta F}{\delta P_j} = \frac{\text{Cons6}}{\left[P_j - P_i \right]^2} \quad (2.13)$$

Gastos:

$$\frac{\delta F}{\delta Q} = \pm 1. \quad (2.14)$$

en donde Cons1, Cons2, Cons3, Cons4, Cons5a, Cons5B, Cons5C, son constantes en cada iteración y dependen de las propiedades de los efluentes de los separadores, dimensiones de las tuberías y las válvulas y potencia de bombas y compresoras ,

3.3 Análisis de Sensibilidad

Una vez balanceado el modelo, es decir, determinado un conjunto único de valores para el vector S, resulta interesante conocer como se va a modificar esta solución en caso que algunos de los valores previamente considerados fijos, (tal como diámetros o longitud de las líneas, potencia y/o presiones y/o gastos) sea diferente.

En tal evento se utilizará el término D para denotar el conjunto de variables que serán perturbadas⁽⁴⁾.

Las ecuaciones de balance en cada nodo serán ahora función tanto de variables en el conjunto D como en el S, por tanto:

$$F_j = f(S_1 \dots NN, D_1 \dots NVD) = 0 \quad j = 1 \dots NN \quad (2.15)$$

donde NVD es el número de variables en el conjunto D.

La solución en este caso tendrá elementos en uno y en otro conjunto⁽⁸⁾:

$$\sum_{i=1}^{NN} \frac{\delta F_j}{\delta S_i} \delta S_i + \sum_{i=1}^{NVD} \frac{\delta F_j}{\delta D_i} \delta D_i = 0 \quad j = 1 \dots NN \quad (2.16)$$

en esta solución está implícito el hecho que las ecuaciones están balanceadas y así permanecerán independientemente de cualquier cambio en S ó D⁽⁴⁾.

La sumatoria de los términos $\delta F_j / \delta S_1$ es el jacobiano de las ecuaciones de continuidad en los nodos, y es un resultado del balance previo del sistema. A su vez, la sumatoria de los términos $\delta F_j / \delta D_1$ es una matriz $NN \times NVD$ denominada de Control ⁽⁶⁾ y notada con la letra C.

$$C = \begin{bmatrix} \delta F_1 / \delta D_1 & \dots & \delta F_1 / \delta D_{NVD} \\ \vdots & & \vdots \\ \delta F_{NN} / \delta D_1 & \dots & \delta F_{NN} / \delta D_{NVD} \end{bmatrix}$$

La matriz C se encuentra aplicando un procedimiento similar para obtener el jacobiano de las ecuaciones de continuidad en nodos, con la diferencia que se aplican las derivadas correspondientes a las variables de sensibilidad.

Por tanto, expresada en notación matricial la ecuación (2.16) va a ser:

$$[J] \{ \delta S \} + [C] \{ \delta D \} = 0 \quad (2.17)$$

Ahora bien; de la solución anterior conocemos que existe la inversa de la matriz J, así que podemos expresar el vector $\{ \delta S \}$ como una función del vector $\{ \delta D \}$,

$$\{ \delta S \} = - [J]^{-1} [C] \{ \delta D \} \quad (2.18)$$

Por lo que puede obtenerse precisamente la matriz de derivadas restringidas

$$\left[\frac{\delta S}{\delta D} \right] = - [J]^{-1} [C] \quad (2.19)$$

la cual es una matriz $NN \times NVD$ cuyos elementos expresan la sensibilidad de cada variable en el conjunto S para un cambio unitario de cada variable del conjunto D , bajo el supuesto que las ecuaciones de continuidad en el sistema permanecen balanceadas. Obtenida esta matriz, es posible calcular los cambios $\{ \Delta S \}$ para el conjunto de variables S , dados un conjunto de cambios $\{ \Delta D \}$ de las variables D , postmultiplicando la matriz de sensibilidad por el vector $\{ \Delta D \}$.

$$\{ \Delta S \} = \left[\frac{\delta S}{\delta D} \right] \{ \Delta D \} \quad (2.20)$$

Encontrar la matriz de sensibilidad puede ser el resultado de tratar la ecuación (2.19) como conjuntos NVD de ecuaciones lineales simultáneas.

O bien, considerando de nuevo la no singularidad de la matriz J ;

$$[J] \left[\frac{\delta S}{\delta D} \right] = - [C] \quad (2.21)$$

donde la matriz de coeficientes J permanece constante y el término del lado derecho consiste de menos cada elemento ij de la matriz C .

Para visualizar esta forma de solución conviene tener en cuenta que J es una matriz cuadrada NN , mientras que la C es de orden $NN \times NVD$; en consecuencia $\delta S / \delta D$ será $NN \times NVD$.

Se observa, que el elemento C_{ij} constituye el término independiente de la ecuación generada por el producto del renglón i de la matriz J y la columna j de la matriz $\delta S / \delta D$, por tanto se tendrá un sistema de $NN \times NVD$ ecuaciones con igual número de

incógnitas cuya solución proporcione la matriz de sensibilidad. Ejemplificando; bajo el supuesto de tener dos nodos C y dos incógnitas), la expresión de la matriz J será:

$$J = \begin{bmatrix} \delta F_1 / \delta S_1 & \delta F_1 / \delta S_2 \\ \delta F_2 / \delta S_1 & \delta F_2 / \delta S_2 \end{bmatrix}$$

Por otra parte, si consideramos dos variables a sensibilizar, C sería una matriz cuadrada de la forma:

$$C = \begin{bmatrix} \delta F_1 / \delta D_1 & \delta F_1 / \delta D_2 \\ \delta F_2 / \delta D_1 & \delta F_2 / \delta D_2 \end{bmatrix}$$

mientras que la matriz de sensibilidad va a ser;

$$\begin{bmatrix} \delta S_1 / \delta D_1 & \delta S_1 / \delta D_2 \\ \delta S_2 / \delta D_1 & \delta S_2 / \delta D_2 \end{bmatrix}$$

El sistema a resolver serán cuatro ecuaciones generadas así: del producto del primer renglón de la matriz J por la primera y segunda columnas de la matriz de sensibilidad,

$$\frac{\delta F_1}{\delta S_1} \frac{\delta S_1}{\delta D_1} + \frac{\delta F_1}{\delta S_2} \frac{\delta S_2}{\delta D_1} + 0 + 0 = - \frac{\delta F_1}{\delta D_1}$$

$$0 + 0 + \frac{\delta F_1}{\delta S_1} \frac{\delta S_1}{\delta D_2} + \frac{\delta F_1}{\delta S_2} \frac{\delta S_2}{\delta D_2} = - \frac{\delta F_1}{\delta D_2}$$

del segundo renglón de J por la primera y segunda filas de la matriz de sensibilidad,

$$\frac{\delta F_2}{\delta S_1} \frac{\delta S_1}{\delta D_1} + \frac{\delta F_2}{\delta S_2} \frac{\delta S_2}{\delta D_1} + 0 + 0 = - \frac{\delta F_2}{\delta D_1}$$

$$0 + 0 + \frac{\delta F_2}{\delta S_1} \frac{\delta S_1}{\delta D_2} + \frac{\delta F_2}{\delta S_2} \frac{\delta S_2}{\delta D_2} = - \frac{\delta F_2}{\delta D_2}$$

Esta forma de solución elimina el cálculo de la inversa de J, lo que significa disminución en el tiempo de cálculo para sistemas grandes.

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTO DE SOLUCION

La integración del Análisis Nodal de baterías de separación tal como lo explica el desarrollo teórico expuesto, se realizó mediante la elaboración de un programa estructurado de la forma siguiente:

Menú Principal

Desde el cuál se pueden acceder ocho opciones, cuatro de las cuáles permiten interactuar con periféricos, visualizar la solución encontrada, o el manejo de archivos, dos para aplicar el modelo de Stoner y el análisis de sensibilidad, una para realizar la captura de información y una última para salida del programa.

Procedimiento de Stoner

Concebido para operar de manera generalizada, el procedimiento contempla la posibilidad de incluir nodos-separadores, además de poder involucrar conectores tipo válvulas de control de presión y nivel, tuberías o unidades de generación de potencia.

En cada etapa de separación se calculan las propiedades de las fases separadas (densidad del gas libre , densidad del gas disuelto, densidad de la corriente líquida, relación gas aceite, viscosidad del gas, factor de volumen del aceite), y se contabilizan en las corrientes de los procesos subsiguientes.

Estos cálculos se efectúan mediante correlaciones de uso

generalizado y en el caso de la densidad del gas libre se establece un balance de gas en el separador. Además, con base en el nivel de líquido en el separador se estiman los gastos teóricos de aceite y gas a manejarse, los cuales al compararse con los gastos reales reportados podrán dar una idea de las condiciones de operación del equipo de separación. Igualmente se evalúan las velocidades de asentamiento y del gas, con el propósito de cualificar el arrastre.

El cálculo es iterativo y finaliza normalmente cuando el valor absoluto del mayor valor de la sumatoria de gastos en los nodos, es menor que cierta tolerancia determinada por el usuario. Terminado el procedimiento, el programa presenta el estado final del modelado destacándose en ello los valores finales de las variables que permitieron el ajuste, así como los gastos y velocidades calculados.

Control del Modelado

Considerando que el modelo intenta representar un proceso en operación, el programa se detiene y envía un mensaje de inconsistencia en el análisis, si a la salida de una iteración existe una caída de presión negativa en la dirección del flujo, por ejemplo si la presión de salida de una válvula es mayor que la de entrada, excepto naturalmente en el caso de bombas o compresoras.

Asimismo se detiene en el caso de calcularse una presión negativa.

De no coincidir el número de nodos y el número de variables, el programa no realiza cálculo alguno y se lo comunica al usuario.

Análisis de Sensibilidad

Balanceado el sistema, se cuenta con la posibilidad teórica de analizar la sensibilidad de las NN variables involucradas originalmente, si se perturban NN + ECN valores en nodos y conectores. No obstante, resulta más interesante establecer un subconjunto de datos de particular interés y correr el programa en tales condiciones.

El procedimiento de sensibilidad se basa en los cálculos de la etapa previa de balanceo, de donde toma la matriz de coeficientes, datos de presión y gastos en nodos así como información relacionada con los conectores.

Resuelto el sistema, se obtiene una matriz cuyos renglones representan los elementos del conjunto S y las columnas los del conjunto D, de tal manera que un elemento ij de esa matriz representa la variación del elemento i -ésimo del conjunto S a una perturbación unitaria en el elemento j -ésimo del conjunto D.

A continuación se pregunta la variación cuantitativa de las perturbaciones y con base en la matriz anterior, el programa modifica las variables que han sido alteradas. Como en el caso previo de balanceo se presenta el estado final del sistema, que difiere del anterior precisamente en las variables y constantes modificadas.

CAPITULO 4

APLICACION A UN CASO REAL

El sistema utilizado como aplicación del programa elaborado se esquematiza en la figura B-4. Corresponde al diagrama simplificado de la batería JUJO-TECO ubicada en el Distrito Villahermosa, Tabasco.

El diagrama de flujo del proceso se muestra en la figura B-3 y el de nodos y conectores conjuntamente con información de dimensiones y datos de operación en las figuras B-4 y B-5.

Etapas de Separación	: 2
Presión de Separación	: 80 Kq/Cm ² (Alta) 10.5 Kg/Cm ² (Baja)
Temp. de Separación	: 43 °C (Alta) 42 °C (Baja)
Separadores	: 2 Horizontales (Alta) : 2 Horizontales (Baja)
Dimensiones	: 72" 20' Relación H/D 0.25 (Alta) : 84" 30' Relación H/D 0.5 (Baja) : 156" 60' Relación H/D 0.2 (Baja)
Válvulas Controladoras de Nivel	
Separadores de Alta	: Diámetro de la descarga 4" Característica de flujo lineal Tamaño del cuerpo de la válvula 3 ". longitud de la carrera 1 1/2" Coeficiente 29.6 (Condición de Operación normal) % apertura 20 - 40 Tipo Globo

Separadores de baja : 84" 30'
Diametro de la descarga 16"
Característica de flujo lineal
Tamaño del cuerpo de la válvula
8 ", Modelo ED
Coeficiente 145 (Condición de
operación normal)
% apertura 30 - 40
Tipo globo

: 156" 60'
Diametro de la descarga 24"
Característica de flujo lineal
Tamaño del cuerpo de la válvula
12 ", Modelo ELD
Coeficiente 243.2 (Operación
Normal).
% apertura 30 - 40
Tipo globo

Válvulas Controladoras
de Presión
Paquete de Regulación
Gas de Alta

: Diametro de tubería 6"
Característica de flujo : igual
Porcentaje Tamaño del cuerpo de
la válvula 3"
Grados de Apertura 30
Tipo mariposa
Coeficiente 25 (Flujo normal)
Característica: una porción pequeña
de caída de presión ocurre
dentro de la válvula.

Paquete de Regulación

Gas de Baja : Diametro de tubería 8"
Característica de flujo : igual
Porcentaje. Tamaño del cuerpo de la válvula 4".
Grados de Apertura 60
Tipo mariposa
Coeficiente 585 (Flujo Normal)
Característica: una porción pequeña de caída de presión ocurre dentro de la válvula.

Presión de descarga separadores de baja : 3 Kg/Cm²

Presión de Rectificadores secundarios de alta : 77 Kg/Cm²

Presión de succión y descarga de bombas : 2.25 Kg/Cm² 22 Kg/Cm²

Presión de Succión y descarga de compresoras : 7 Kg/Cm² 78 Kg/Cm²

Bombas operando : 3. Potencia nominal: 2000 HP c/u
Capacidad por unidad : 50000 B/d

Compresoras operando : 6. Potencia nominal: 5000 HP c/u
Capacidad por unidad : 14 MMpcsd

Eficiencias : Compresoras
 Gasto teórico de acuerdo a 1.15 :
 38 MMscfd.
 E : 38.6%

Bombas
 Gasto teórico de acuerdo a 1.11 :
 418736.2 B/d
 E : 11.94%

Gastos¹ : Producción de aceite, 150000 B/d
 Condensados menos de 10 Bls/día
 Gas de alta, 25 MMpcsd
 Gas de Baja, 150 MMpcsd

4.1 Balanceo del Sistema

Datos Generales

La información de tipo general que es alimentada al modelo es como sigue :

Densidad del gas total	0.835
R G A (Pie3/Bl)	1094
Densidad API del Aceite	37.96
Número de Nodos	21
Número de Conectores	26
Temperatura base (°F)	60
Presión base (Psia)	14.7
Tolerancia (%)	1

¹ Promedios para la segunda quincena de Marzo

4.2 Suposiciones al Planteamiento del Modelo

Las figuras B-4 esquematizan la simplificación del sistema de producción. En lo concerniente al flujo de gas desde los rectificadores primarios hasta el paquete de regulación, la salida de masa del sistema se manifiesta como condensados, los cuales no tienen mayor significación dentro del volumen de líquidos producidos, pero cuyo proceso resulta particularmente difícil modelar. Considerando que el flujo a través de los rectificadores como de los intercambiadores introduce una caída de presión conocida, se calculó una longitud equivalente (utilizando el programa) hasta el paquete que incluye las caídas producidas por cada elemento y se manejó como una línea equivalente de gas, despreciándose el volumen de condensados. Por otra parte, la alimentación a los separadores de baja desde el colector (Nodo 3), tiene un flujo estrangulado mediante válvulas con aproximadamente $1/4$ de apertura operadas manualmente, por lo que se evaluaron longitudes equivalentes de líneas de aceite producida por el flujo a través de aquellas y se manejaron como líneas equivalentes.

El flujo de aceite desde los separadores de baja hasta la succión de bombas está sometido a una separación en tanque elevado (aproximadamente a 0.8 Kg/cm^2) que fundamentalmente recupera gas que se incorpora a la corriente de baja o se envía a quemadores.

La presión en la base del tanque tanto al ascenso como en el descenso del líquido tienen muy poca diferencia (aproximadamente 0.2 Kg). No se consideró el tanque como un nodo separador adicional y como consecuencia, el gas recuperado en esta separación.

La corriente de aceite en condiciones normales es bombeada y el tanque sirve como almacenamiento en caso de problemas de bombeo. Por tratarse de una operación transitoria, el tanque y la bomba del trasiego tampoco se incluyen en el análisis.

Los resultados de aplicar el modelado del sistema se muestran en el apéndice C.

4.2 Análisis de Sensibilidad

Analizar desde este punto de vista el modelo puede ayudar a investigar el efecto de pequeños cambios o errores en los datos en parámetros que son considerados cantidades conocidas en el modelo.

En este punto del uso del programa, existe una limitante; en razón que cada elemento de la matriz de derivadas restringidas constituye la variación de un elemento en S a una perturbación unitaria de un elemento en D, tendremos un sistema de ecuaciones a resolver igual al número de nodos por el número de variables de sensibilidad. Ejemplificando, para el caso que nos ocupa tenemos 21 nodos, si elegimos 2 elementos del conjunto D (esto es, dos variables de sensibilidad) será un sistema de 42 ecuaciones con 42 incógnitas, en cuya solución muchas de las cuales serán ceros dependiendo de si existe o no relación entre ellas. La limitante en mención la constituye el máximo tamaño de matriz que puede aceptar el programa : 50×50 . Por lo que el número de variables de sensibilidad a considerarse va a depender del número de nodos que se tengan.

En nuestro problema hemos elegido investigar la respuesta del sistema a un incremento o disminución de los gastos de entrada . Los resultados arrojados por el programa se muestran igualmente en el apéndice C.

CAPITULO 5

ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

5.1 Análisis de Resultados

El modelado del sistema se realizó considerando constantes las presiones de separación y determinando gastos de operación. Una vez encontrado estos, se invirtieron las variables dejando constantes algunos gastos, el sistema se equilibra en los mismos valores de presiones que el caso anterior. El propósito de esto fue el tener los gastos como parámetros constantes y poder analizar su influencia.

Uno de los elementos del esquema de separación más importante lo constituyen las válvulas de control, especialmente para el caso presente, donde constituyen restricciones que definen precisamente los flujos que son manejados en los separadores.

En general, el balance (en nodos 4, 5, 11, 12, 14, 15) se equilibra con alguna salida o entrada de masa al sistema. Esto es consecuencia probablemente de la rigidez de los modelos de flujo y los valores de presiones leídos.

No obstante la generalidad planteada en el programa que se elaboró, el modelar un sistema en especial (considerando que solo se incluyen seis elementos) requiere adecuar algunos de los parámetros a considerar para tratar de ajustar el modelo al proceso real.

La sensibilidad se realizó considerando dos formas de operación

del sistema (Ver figura B-5):

- Para obtener el comportamiento si se modifican los gastos de entrada (1) y (2) (suponiendo incrementos de 10 lb/seg en cada separador de alta). Para ello se fijaron las presiones de separación (1) y (2). Además se dejó variable el gasto de entrada al nodo (3) (Colector de baja). la respuesta se manifiesta en una disminución del gasto de entrada Q3 y un incremento en los coeficientes de las válvulas (1) y (2).

La respuesta en esta primera prueba corresponde cualitativamente en parte a lo que sucedería: un incremento súbito del flujo tendrá como consecuencia un incremento en el nivel de líquido del separador que obliga al sistema de control (de nivel) a abrir. La tendencia deberá ser mantener el mismo delta de presión para un incremento del gasto lo que se conseguirá con una apertura mayor de la válvula. No obstante, no hay una manifestación del flujo en los nodos (4) y (5). Esto puede tener su explicación cuando se considera que la relación matemática entre nodos, se establece a través de las presiones o a través de variables en conectores. Es decir, el término de la derivada en el nodo 4, de las presiones (1) y (2) es cero puesto que éstas se consideran constantes. En tal sentido, la matriz de sensibilidad no se altera y en consecuencia tampoco lo hace la variable asociada a ese nodo (Gasto).

Asimismo, se muestra una disminución en el gasto de entrada en el nodo (3) (el gasto que aporta el colector de baja, no la descarga de separadores de alta). Esta respuesta del modelo está relacionada con la variación de los conectores (1) y (2). Desde el punto de vista matemático, el equilibrio de masas en el nodo (3) hace que la reacción del modelo sea precisamente disminuir el aporte de masa a ese nodo desde afuera del sistema, en razón del mayor aporte desde los nodos (1) y (2).

- Una segunda prueba consistió en modificar el esquema de variables en nodos y conectores. En este caso (P1), (P2), (P3), se dejaron variables, pero los gastos que se fijaron en estos nodos fueron precisamente aquellos que equilibraron el sistema en el esquema anterior (conviene recordar que independientemente de la variable que se elija en cada nodo o conector, el sistema tiene una sola manera de equilibrarse). Además se dejaron constantes los coeficientes (1) y (2).

En este caso, modificar los gastos de alta, (incrementarlos 10 lb/seg cada uno) de acuerdo a la matriz de sensibilidad, afecta las presiones de alta y el gasto en el nodo (4). Existe una manifestación poco significativa en Q13 así como en las válvulas de descarga de baja. En este caso no existe respuesta en el nodo (3) como consecuencia de la no variación de los coeficientes (1) y (2).

Esta respuesta se aproxima al caso real: incrementar la carga a los separadores de alta implica represionar estos pero además debe haber una manifestación en los efluentes de gas y aceite. Esto se visualiza parcialmente en el nodo (4)(gas) no así en el nodo (3)(aceite), pero ello tiene que ver con el hecho que las válvulas de descarga de alta no se consideraron variables en esta prueba con lo que no se obtiene respuesta en este último nodo.

5.2 Conclusiones

Se propone un modelo de análisis de instalaciones de separación, restringido para su utilización en esquemas que incluyan hasta seis tipos de elementos (Separadores, válvulas, líneas de gas y aceite, bombas y compresoras), que manejen aceites negros sin agua.

Existe una aproximación aceptable a los gastos reportados en el proceso y los proporcionados por el modelo. (Ver apéndice A). La diferencia es una consecuencia de las suposiciones y los valores leídos que se utilizan en la resolución del modelo . De acuerdo a lo calculado no existe sobrecarga en la operación del equipo de separación, (excepto por el gas manejado en el separador (9)) aunque la velocidad de asentamiento es menor que la velocidad del gas, lo cuál establece algún grado de arrastre (no cuantificable). (Ver apéndice A)

Si bien no es un resultado directo en el modelado, se considera que las capacidades instaladas de bombeo y compresión son muy altas para los gastos reales, lo que provoca una baja eficiencia de operación.

Se acude a la teoría disponible y se presenta una forma de analizar la respuesta del sistema equilibrado como consecuencia de una perturbación.

La respuesta que se pretenda (de acuerdo al modelado), está influenciada por los elementos (en nodos y conectores) que se consideren variables. A su vez, determinar cuales de aquellos van a formar parte del sistema, depende de que el sistema que se genere tenga solución matemática. Por tanto el análisis se limita desde este punto de vista.

Cuantificar la respuesta es probablemente lo más difícil del trabajo, principalmente si tenemos en cuenta el ítem anterior. Esto es; lo que ocurre en un nodo está en función directa de cuales elementos varían en nodos y conectores que tienen alguna influencia sobre el. Así las cosas, los resultados muestran aproximaciones cualitativas interesantes, mientras que cuantificarlas va a depender de que tan cercano está el sistema

que elijamos (que tenga solución) desde el punto de vista de las variables y su interrelación.

Considerando que el presente trabajo no tiene antecedentes, en lo que respecta al análisis de instalaciones de producción, se puede considerar como un aporte inicial susceptible de complementarse mediante la inclusión de nuevos elementos que afinen el esquema a ser analizado.

APENDICE A

TEORIA Y CALCULOS COMPLEMENTARIOS

A.1 Válvulas de Control

Coefficiente de Caudal Cv. Por definición, el coeficiente Cv es el número de galones USA de agua que pasan a través de una restricción de flujo teniendo una caída de presión de 1 psi. Corresponde entonces a una medida de capacidad y en consecuencia representa dentro del esquema de la válvula un valor del gasto para cierto delta de presión.

Característica de Flujo. La característica de flujo de una válvula de control, es la manera de dejar pasar el flujo con respecto a su apertura total.

Se manejan tres tipos principales:

- Lineal: El flujo es directamente proporcional al viaje de la válvula. Esta relación produce una característica con una pendiente constante, de manera que con una caída de presión constante la ganancia será la misma en todos los flujos (Ganancia es un término que se refiere a una relación entre deltas de gasto y porcentaje del viaje del émbolo). Esta característica se especifica comunmente para control de nivel de líquidos y para ciertas aplicaciones de control de flujo que requieren ganancia constante, así como cuando gran porción de la caída de presión del sistema se realiza dentro de la válvula.

- Igual porcentaje: iguales incrementos del viaje de la válvula produce igual porcentaje de cambios en el flujo. Cuando el elemento de cierre de la válvula está cerca de su asiento y el flujo es pequeño, el cambio en el flujo será pequeño; con un gasto alto, los cambios en el gasto serán altos. Esta característica se especifica generalmente en aplicaciones de control de presión y en otras donde un gran porcentaje de la caída de presión es normalmente absorbida por el

sistema, con un pequeño porcentaje disponible en la válvula de control.

- Apertura rápida: A pequeños porcentajes de apertura grandes porcentajes de flujo.

A.2 Gastos evaluados

Gas de Alta. El gasto de gas de alta producido se contabiliza en los nodos 6, 7, 8, y es igual a 16.8 lb/seg. Adicionalmente en el nodo 5 se presenta una salida de masa de 3.1 lb/seg.

Para una densidad del gas libre en los separadores de alta de 0.72 (Valor reportado por el programa) tendremos:

$$\text{Gasto de Gas} = \frac{19.9 * 86400}{0.0764 * 0.72} = 31250000 \text{ Pie}^3/\text{día}$$

Gas de Baja. Parte del gas de baja se envía directamente a Paredón y parte es comprimido mediante el equipo disponible en la batería, esto se ve en los nodos 20 y 21 con 56.3 y 76 lb/seg respectivamente.

Para una densidad del gas libre en baja de 0.948 tendremos:

$$\text{Gasto de Gas} = \frac{132.3 * 86400}{0.0764 * 0.948} = 157820000 \text{ Pie}^3/\text{día}$$

Gasto de aceite. El aceite es producido exclusivamente en la descarga de bombas a través del nodo 13, y es del orden de 496 lb/seg. Considerando que el dato de la densidad API reportado es 37.96 o sea 0.835 de densidad relativa (52.1 lb/pie³), tendremos:

$$\text{Gasto de Aceite} = \frac{504 * 86400}{52.1 * 5.61458} = 148800 \text{ B/d.}$$

A.3 Gastos Reportados por el programa (Ver apéndice C)

Separadores (1) y (2) Alta.

Aceite : 35632.5 B/D

Gas : 15162900 P3/D

Separador (9) Baja.

Aceite : 57000 B/D

Gas : 39203000 P3/D

Separador (10) Baja.

Aceite : 94974 B/D

Gas : 115583000 P3/D.

A.4 Longitud Equivalente Válvulas de Estrangulamiento Sep. de Baja

De acuerdo a la referencia (1) Apéndice A para una válvula de compuerta el coeficiente de resistencia K se puede determinar:

$$\beta = d1/d2$$

β relación de diámetros entre válvula y tubería.

$$K1 = 8*fT$$

K1 Coeficiente debido a fricción

$$K2 = \frac{K1 + \text{Sen}(\phi/2)[0.8(1-\beta^2) + 2.6(1-\beta^2)^2]}{\beta^4}$$

K2 Coeficiente de resistencia total

- Para diametro de tubería de 16" y de válvula de 4"

$$\beta = 0.25$$

$$\beta^2 = 0.0625$$

$$\beta^4 = 0.003906$$

$$fT = 0.017$$

$$K1 = 0.136$$

$$\text{Sen}(\phi/2) = 0.35$$

$$K2 = 312.4$$

ahora bien;

$$L/D = K/fT = 312.4/0.017 = 18376$$

entonces $L = 18376 * D = 18376 * 16/12 = 24501$ pies

$$L = 7.47 \text{ Kms}$$

- Para diametro de tubería de 24" y de válvula de 6"

$$\beta = 0.25$$

$$\beta^2 = 0.0625$$

$$\beta^4 = 0.003906$$

$$fT = 0.015$$

$$K1 = 0.12$$

$$\text{Sen}(\phi/2) = 0.45$$

$$K2 = 385$$

ahora bien;

$$L/D = K/fT = 385/0.015 = 25698$$

entonces $L = 25698 * D = 25698 * 24/12 = 51397$ pies

$$L = 15.67 \text{ Kms}$$

Estos valores se introducen en el balanceo del sistema como longitud de las líneas de entrada a los separadores de baja.

APENDICE B
TABLAS Y FIGURAS

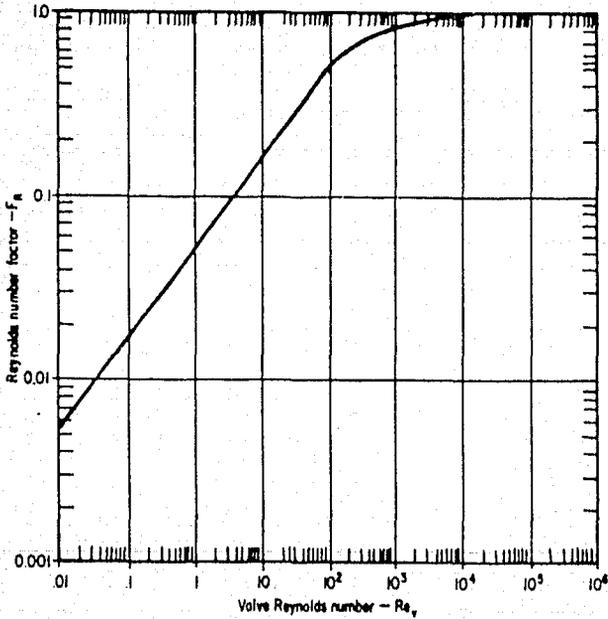


FIGURA B-1 FACTOR DE NUMERO DE REYNOLDS PARA LIQUIDOS

Body and Trim Type	Flow ¹ to	Line size body (D = d)						Half size (D = 2d)			
		C _d	F _L	x _T	F _d ⁴	F _s ⁴	K _c	C _D	F _{LP}	x _{TP}	F _s
Single seat globe											
Wing guided	Either	11	0.90	0.75	1.0	1.05	NA	2.8	0.85	0.75	1.04
V-skirt	Either	9	0.90	0.75	1.5	1.38	NA	2.3	0.86	0.75	1.36
Contoured	Open	11	0.90	0.72	1.0	1.05	0.65	2.8	0.85	0.73	1.04
Contoured	Close	11	0.80	0.55	1.0	1.09	0.58	2.8	0.76	0.57	1.08
V-plug	Either	9.5	0.90	0.75	1.0	1.05	0.80	2.4	0.86	0.75	1.04
Cage	Open	14	0.90	0.75	1.0	1.06	0.65	3.5	0.82	0.75	1.04
Cage	Close	16	0.80	0.70	1.0	1.11	NA	4.0	0.72	0.71	1.08
Double seat globe											
Wing guided	--	14	0.90	0.75	0.71	0.84	NA	3.5	0.82	0.75	0.83
V-skirt	--	13	0.90	0.75	0.71	0.84	NA	3.5	0.83	0.75	0.83
Contoured	--	13	0.85	0.70	0.71	0.85	0.70	3.3	0.79	0.71	0.84
V-plug	--	12.5	0.90	0.75	0.71	0.84	0.80	3.1	0.83	0.75	0.84
Angle											
Full port contour	Close	20	0.80	0.65	1.0	1.12	0.53	5.0	0.69	0.68	1.08
Full port contour	Open	17	0.90	0.72	1.0	1.08	0.64	4.3	0.78	0.73	1.04
Restricted contour	Close	>6	0.70	0.55	1.0	1.13	NA	1.5	0.69	0.56	1.13
Restricted contour	Open	>5.5	0.95	0.80	1.0	1.02	NA	1.3	0.93	0.80	1.02
2:1 tapered orifice	Close	12	0.45	0.15	1.0	1.31	NA	3.0	0.44	0.17	1.31
Cage	Open	12 ²	0.35	0.65	1.0	1.08	NA	3.0	0.80	0.66	1.06
Cage	Close	12 ²	0.80	0.60	1.0	1.10	NA	3.0	0.75	0.62	1.08
Venturi	Close	22	0.50	0.20	1.0	1.29	0.17	5.5	0.46	0.26	1.26
Ball											
Standard bore ³	--	30	0.55	0.15	1.0	1.28	0.25	7.5	0.47	0.24	1.22
Characterized	--	25	0.57	0.25	1.0	1.25	0.22	6.3	0.50	0.33	1.21
Butterfly											
60-degree open	--	17	0.68	0.38	0.71	0.92	0.3	4.3	0.63	0.43	0.91
90-degree open	--	>30	0.55	0.20	0.71	1.01	NA	>7.5	0.45	0.33	0.97

NOTES:

1. Direction of flow tends to open valve, close it, or either.
 2. C_d is variable.
 3. Orifice \cong 0.8d.
 4. Values of F_d⁴ are based on limited test data which has not been corroborated by independent laboratories. F_s is calculated from F_d⁴.
- NA Not available.

TABLA B-2 FACTORES REPRESENTATIVOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE VALVULAS

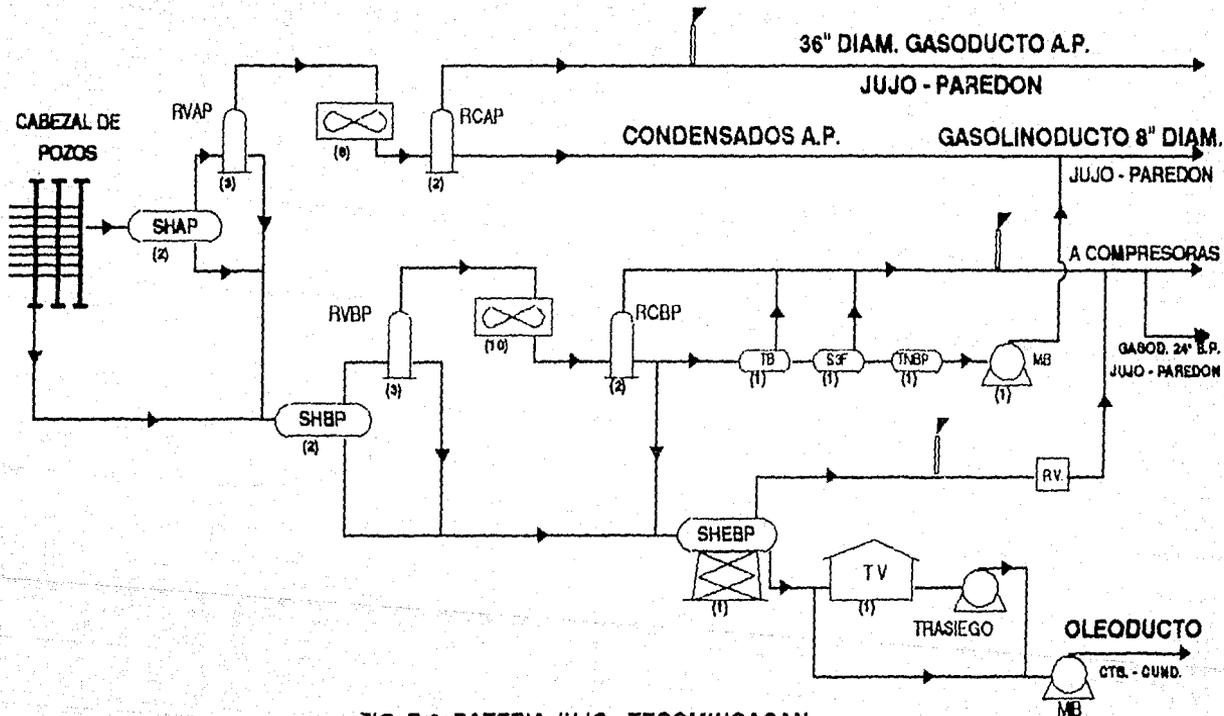


FIG. B-3 BATERIA JUJO - TECOMINOACAN
DIAGRAMA DE FLUJO

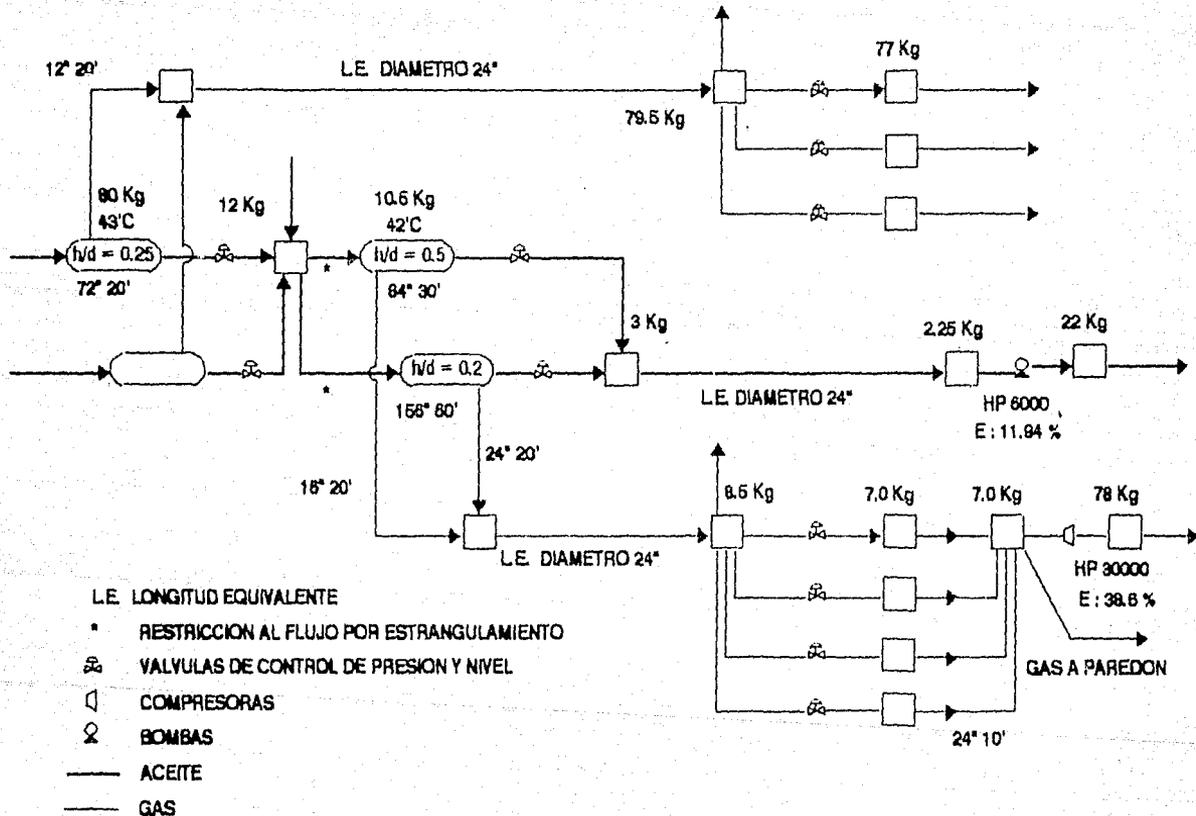


FIGURA B - 4 BATERIA JUJO-TECO DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE NODOS Y CONECTORES

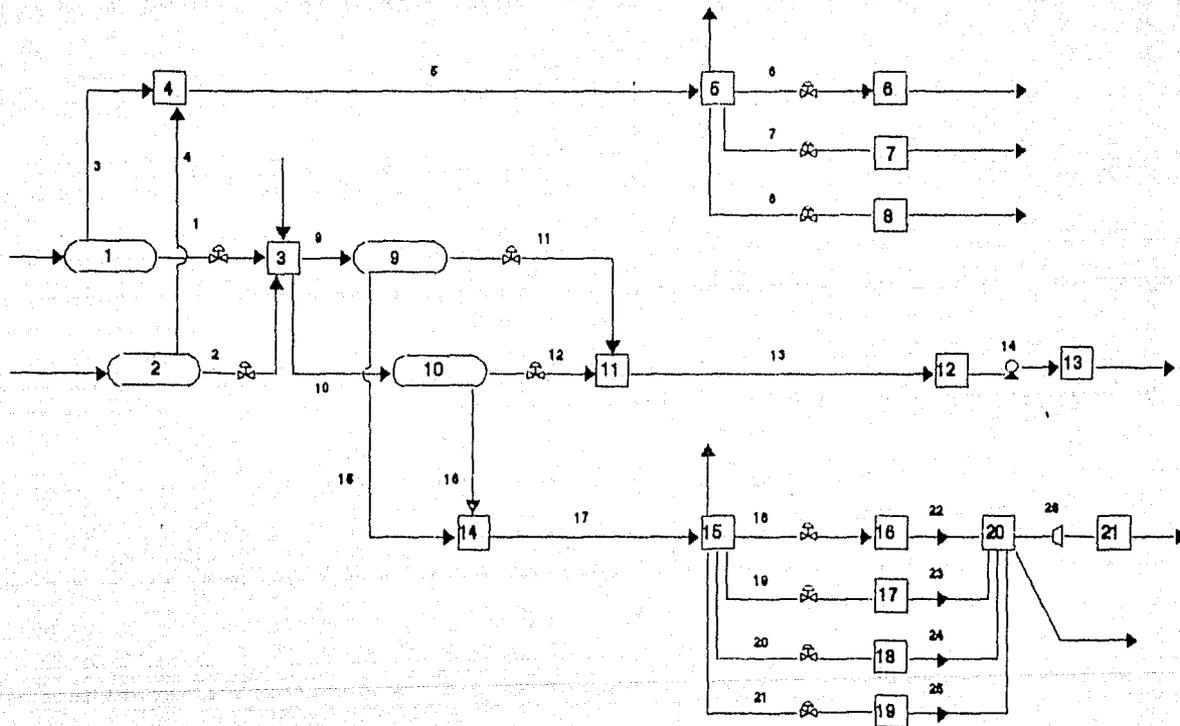


FIGURA B - 5 BATERIA JUJO-TECO DISTRIBUCION DE NODOS Y CONECTORES

APENDICE C

El resultado de la evaluación de la operación de los separadores se lista en primera instancia.

A continuación se presenta la información del sistema balanceado para la que se denominó prueba 1 y la captura de variables a sensibilizar.

Se presenta de igual manera la matriz C, referida a las variables de sensibilidad en cada nodo.

Seguidamente la matriz de sensibilidad relaciona la modificación de las variables originales como función de las de sensibilidad.

Finalmente aparece el sistema con las modificaciones debidas a las perturbaciones.

Se llevan a cabo las dos pruebas relacionadas en el capítulo 5.

CONDICIONES DE OPERACION DE LOS SEPARADORES

SEPARADOR	GASTOS TEORICOS		GASTOS CALCULADOS	
	Aceite (B/D)	Gas (F3/D)	Aceite (B/D)	Gas (F3/D)
1	48546.7	224337326.5	35634.5	15153186.3
2	48546.7	224337326.5	35634.5	15153186.3
9	142230.8	34492192.5	57001.7	39203032.9
10	279375.8	204050229.2	94974.5	115583637.3

PRUEBA 1

DATOS DE LOS NODOS.

CALCULOS DE LA SEPARACION.

NODO	PRESION (Psia)	GASTO (Lb/Seg)	ACEITE (B/d)	GAS (Pie3/d)	Vt (Pie/seg)	Vg
1	1152.3(D)	122.8(D)	4.9E+04	2.24E+08	0.45	1.29
2	1152.3(D)	122.8(D)	4.9E+04	2.24E+08	0.45	1.29
3	185.3(D)	409.0(V)				
4	1152.3(D)	0.5(V)				
5	1145.2(D)	-3.0(V)				
6	1109.6(D)	-5.6(V)				
7	1109.6(D)	-5.6(V)				
8	1109.6(D)	-5.6(V)				
9	164.0(D)	0.0(D)	1.4E+05	3.45E+07	0.94	1.93
10	164.0(D)	0.0(D)	2.8E+05	2.04E+08	0.94	1.93
11	57.3(D)	-0.7(V)				
12	46.7(D)	-0.1(V)				
13	327.5(D)	-504.6(V)				

El Gasto Negativo Significa Masa Extraida del Sistema

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

DATOS DE LOS NODOS.

CALCULOS DE LA SEPARACION.

NODO	PRESION (Psia)	GASTO (Lb/Seg)	ACEITE (B/d)	GAS (Pie3/d)	Vt (Pie/seg)	Vg
14	164.0(D)	0.0(V)				
15	135.6(D)	2.8(V)				
16	114.2(D)	0.0(D)				
17	114.2(D)	0.0(D)				
18	114.2(D)	0.0(D)				
19	114.2(D)	0.0(D)				
20	114.2(D)	-56.3(V)				
21	1123.8(D)	-76.0(V)				

El Gasto Negativo Significa Masa Extraida del Sistema

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

D A T O S D E L O S C O N E C T O R E S

NUM NODO (Ini)	NODO (Fin)	CONECTOR (Tipo)	CV	LONGITUD (Kms)	POTENCIA (Hp)	DIAMETRO (Pg)
1	1	3	VAL DE NIVEL	29.3 (V)		
2	2	3	VAL DE NIVEL	29.6 (V)		
3	1	4	LINEA DE GAS		0.007 (D)	12.0
4	2	4	LINEA DE GAS		0.007 (D)	12.0
5	4	5	LINEA DE GAS		475.500 (D)	24.0
6	5	6	VAL DE PRESION	25.0 (D)		
7	5	7	VAL DE PRESION	25.0 (D)		
8	5	8	VAL DE PRESION	25.0 (D)		
9	3	9	LINEA DE ACEITE		7.470 (D)	16.0
10	3	10	LINEA DE ACEITE		15.670 (D)	24.0
11	9	11	VAL DE NIVEL	145.9 (V)		
12	10	11	VAL DE NIVEL	243.2 (V)		
13	11	12	LINEA DE ACEITE		4.780 (D)	24.0
14	12	13	BOMBAS		6000	
15	9	14	LINEA DE GAS		0.006 (D)	16.0
16	10	14	LINEA DE GAS		0.006 (D)	24.0
17	14	15	LINEA DE GAS		6.174 (D)	24.0
18	15	16	VAL DE PRESION	585.4 (V)		

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

D A T O S D E L O S C O N E C T O R E S

NUM NODO (Ini)	NODO (Fin)	CONECTOR (Tipo)	CV	LONGITUD (Kms)	POTENCIA (Hp)	DIAMETRO (Pg)
19	15	17	VAL DE PRESION	585.4 (V)		
20	15	18	VAL DE PRESION	585.4 (V)		
21	15	19	VAL DE PRESION	585.4 (V)		
22	16	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)	24.0
23	17	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)	24.0
24	18	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)	24.0
25	19	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)	24.0
26	20	21	COMPRESORAS		30000	

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

MATRIZ [C] DE DERIVADAS
VARIABLES DE SENSIBILIDAD PARA CADA F(I) EN CADA NODO

	Q [1]	Q [2]
F [1]	1.000000	0.000000
F [2]	0.000000	1.000000
F [3]	0.000000	0.000000
F [4]	0.000000	0.000000
F [5]	0.000000	0.000000
F [6]	0.000000	0.000000
F [7]	0.000000	0.000000
F [8]	0.000000	0.000000
F [9]	0.000000	0.000000
F [10]	0.000000	0.000000
F [11]	0.000000	0.000000
F [12]	0.000000	0.000000
F [13]	0.000000	0.000000

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

MATRIZ [C] DE DERIVADAS
VARIABLES DE SENSIBILIDAD PARA CADA F(I) EN CADA NODO

	Q [1]	Q [2]
F [14]	0.000000	0.000000
F [15]	0.000000	0.000000
F [16]	0.000000	0.000000
F [17]	0.000000	0.000000
F [18]	0.000000	0.000000
F [19]	0.000000	0.000000
F [20]	0.000000	0.000000
F [21]	0.000000	0.000000

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

M A T R I Z D E S E N S I B I L I D A D
 VARIACION DE ELEMENTOS EN S PARA UN CAMBIO UNITARIO DE ELEMENTOS EN D

	Q [1]	Q [2]
Q [3]	-1.000000	-1.000000
Q [4]	0.000000	0.000000
Q [5]	0.000000	0.000000
Q [6]	0.000000	0.000000
Q [7]	0.000000	0.000000
Q [8]	0.000000	0.000000
Q [11]	0.000000	0.000000
Q [12]	0.000000	0.000000
Q [13]	0.000000	0.000000
Q [14]	0.000000	0.000000
Q [15]	0.000000	0.000000
Q [20]	0.000000	0.000000
Q [21]	0.000000	0.000000

Matriz Base para Establecer la Variacion de Cada Elemento en S
 Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

M A T R I Z D E S E N S I B I L I D A D
 VARIACION DE ELEMENTOS EN S PARA UN CAMBIO UNITARIO DE ELEMENTOS EN D

	Q [1]	Q [2]
CV [1]	0.261744	0.000000
CV [2]	0.000000	0.261744
CV [11]	0.000000	0.000000
CV [12]	0.000000	0.000000
CV [18]	0.000000	0.000000
CV [19]	0.000000	0.000000
CV [20]	0.000000	0.000000
CV [21]	0.000000	0.000000

Matriz Base Para establecer la Variacion de cada Elemento en S
 Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

SISTEMA MODIFICADO

DATOS DE LOS NODOS.

CALCULOS DE LA SEPARACION.

NODO	PRESION (Psia)	GASTO (Lb/Seq)	ACEITE (B/d)	GAS (Pie3/d)	Vt (Pie/seq)	Vg
1	1152.3(D)	132.8(D)	4.9E+04	2.24E+08	0.45	1.29
2	1152.3(D)	132.8(D)	4.9E+04	2.24E+08	0.45	1.29
3	185.3(D)	389.0(V)				
4	1152.3(D)	0.5(V)				
5	1145.2(D)	-3.0(V)				
6	1109.6(D)	-5.6(V)				
7	1109.6(D)	-5.6(V)				
8	1109.6(D)	-5.6(V)				
9	154.0(D)	0.0(D)	1.4E+05	3.45E+07	0.94	1.93
10	154.0(D)	0.0(D)	2.8E+05	2.04E+08	0.94	1.93
11	57.3(D)	-0.7(V)				
12	45.7(D)	-0.1(V)				
13	327.5(D)	-504.6(V)				

El Gasto Negativo Significa Masa Extraida del Sistema

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

DATOS DE LOS NODOS.

CALCULOS DE LA SEPARACION.

NODO	PRESION (Psia)	GASTO (Lb/Seq)	ACEITE (B/d)	GAS (Pie3/d)	Vt (Pie/seq)	Vg
14	164.0(D)	0.0(V)				
15	135.6(D)	2.8(V)				
16	114.2(D)	0.0(D)				
17	114.2(D)	0.0(D)				
18	114.2(D)	0.0(D)				
19	114.2(D)	0.0(D)				
20	114.2(D)	-56.3(V)				
21	1123.8(D)	-76.0(V)				

El Gasto Negativo Significa Masa Extraida del Sistema

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

D A T O S D E L O S C O N E C T O R E S

NUM	NODO (Ini)	NODO (Fin)	CONECTOR (Tipo)	CV	LONGITUD (kms)	POTENCIA (Hp)	DIAMETRO (Pq)
1	1	3	VAL DE NIVEL	32.2 (V)			
2	2	3	VAL DE NIVEL	32.2 (V)			
3	1	4	LINEA DE GAS		0.007 (D)		12.0
4	2	4	LINEA DE GAS		0.007 (D)		12.0
5	4	5	LINEA DE GAS		475.500 (D)		24.0
6	5	6	VAL DE PRESION	25.0 (D)			
7	5	7	VAL DE PRESION	25.0 (D)			
8	5	8	VAL DE PRESION	25.0 (D)			
9	3	9	LINEA DE ACEITE		7.470 (D)		16.0
10	3	10	LINEA DE ACEITE		15.670 (D)		24.0
11	9	11	VAL DE NIVEL	145.9 (V)			
12	10	11	VAL DE NIVEL	243.2 (V)			
13	11	12	LINEA DE ACEITE		4.780 (D)		24.0
14	12	13	BOMBAS			6000	
15	9	14	LINEA DE GAS		0.006 (D)		16.0
16	10	14	LINEA DE GAS		0.006 (D)		24.0
17	14	15	LINEA DE GAS		6.174 (D)		24.0
18	15	15	VAL DE PRESION	585.4 (V)			

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

D A T O S D E L O S C O N E C T O R E S

NUM	NODO (Ini)	NODO (Fin)	CONECTOR (Tipo)	CV	LONGITUD (kms)	POTENCIA (Hp)	DIAMETRO (Pq)
19	15	17	VAL DE PRESION	585.4 (V)			
20	15	18	VAL DE PRESION	585.4 (V)			
21	15	19	VAL DE PRESION	585.4 (V)			
22	15	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
23	17	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
24	18	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
25	19	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
26	20	21	COMPRESORAS			30000	

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

DATOS DE LOS NODOS.

CALCULOS DE LA SEPARACION.

NODO	PRESION (Psia)	GASTO (Lb/Seg)	ACEITE (B/d)	GAS (Pie3/d)	Vt (Pie/seg)	Vg (Pie/seg)
1	1152.3(V)	122.8(D)	4.9E+04	2.24E+08	0.45	1.29
2	1152.3(V)	122.8(D)	4.9E+04	2.24E+08	0.45	1.29
3	185.3(V)	407.0(D)				
4	1152.3(D)	0.5(V)				
5	1145.2(D)	-3.0(V)				
6	1109.6(D)	-5.6(V)				
7	1109.6(D)	-5.6(V)				
8	1109.6(D)	-5.6(V)				
9	164.0(D)	0.0(D)	1.4E+05	3.45E+07	0.94	1.93
10	164.0(D)	0.0(D)	2.8E+05	2.04E+08	0.94	1.93
11	57.3(D)	-0.7(V)				
12	46.7(D)	-0.1(V)				
13	327.5(D)	-504.6(V)				

El Gasto Negativo Significa Masa Extraida del Sistema

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

DATOS DE LOS NODOS.

CALCULOS DE LA SEPARACION.

NODO	PRESION (Psia)	GASTO (Lb/Seg)	ACEITE (B/d)	GAS (Pie3/d)	Vt (Pie/seg)	Vg (Pie/seg)
14	164.0(D)	0.0(V)				
15	135.6(D)	2.8(V)				
16	114.2(D)	0.0(D)				
17	114.2(D)	0.0(D)				
18	114.2(D)	0.0(D)				
19	114.2(D)	0.0(D)				
20	114.2(D)	-56.3(V)				
21	1123.8(D)	-76.0(V)				

El Gasto Negativo Significa Masa Extraida del Sistema

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

D A T O S D E L O S C O N E C T O R E S

NUM	NODO (Ini)	NODO (Fin)	CONECTOR (Tipo)	CV	LONGITUD (Kms)	POTENCIA (Hp)	DIAMETRO (Pg)
1	1	3	VAL DE NIVEL	29.6 (D)			
2	2	3	VAL DE NIVEL	29.6 (D)			
3	1	4	LINEA DE GAS		0.007 (D)		12.0
4	2	4	LINEA DE GAS		0.007 (D)		12.0
5	4	5	LINEA DE GAS		475.500 (D)		24.0
6	5	6	VAL DE PRESION	25.0 (D)			
7	5	7	VAL DE PRESION	25.0 (D)			
8	5	8	VAL DE PRESION	25.0 (D)			
9	3	9	LINEA DE ACEITE		7.470 (D)		16.0
10	3	10	LINEA DE ACEITE		15.670 (D)		24.0
11	9	11	VAL DE NIVEL	145.9 (V)			
12	10	11	VAL DE NIVEL	243.2 (V)			
13	11	12	LINEA DE ACEITE		4.780 (D)		24.0
14	12	13	BOMBAS			5000	
15	9	14	LINEA DE GAS		0.006 (D)		16.0
16	10	14	LINEA DE GAS		0.006 (D)		24.0
17	14	15	LINEA DE GAS		3.174 (D)		24.0
18	15	16	VAL DE PRESION	585.4 (V)			

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

D A T O S D E L O S C O N E C T O R E S

NUM	NODO (Ini)	NODO (Fin)	CONECTOR (Tipo)	CV	LONGITUD (Kms)	POTENCIA (Hp)	DIAMETRO (Pg)
19	15	17	VAL DE PRESION	585.4 (V)			
20	15	18	VAL DE PRESION	585.4 (V)			
21	15	19	VAL DE PRESION	585.4 (V)			
22	16	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
23	17	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
24	18	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
25	19	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
26	20	21	COMPRESORAS			30000	

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

MATRIZ [C] DE DERIVADAS
VARIABLES DE SENSIBILIDAD PARA CADA F(I) EN CADA NODO

	Q [1]	Q [2]
F [1]	1.000000	0.000000
F [2]	0.000000	1.000000
F [3]	0.000000	0.000000
F [4]	0.000000	0.000000
F [5]	0.000000	0.000000
F [6]	0.000000	0.000000
F [7]	0.000000	0.000000
F [8]	0.000000	0.000000
F [9]	0.000000	0.000000
F [10]	0.000000	0.000000
F [11]	0.000000	0.000000
F [12]	0.000000	0.000000
F [13]	0.000000	0.000000

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

MATRIZ [C] DE DERIVADAS
VARIABLES DE SENSIBILIDAD PARA CADA F(I) EN CADA NODO

	Q [1]	Q [2]
F [14]	0.000000	0.000000
F [15]	0.000000	0.000000
F [16]	0.000000	0.000000
F [17]	0.000000	0.000000
F [18]	0.000000	0.000000
F [19]	0.000000	0.000000
F [20]	0.000000	0.000000
F [21]	0.000000	0.000000

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

M A T R I Z D E S E N S I B I L I D A D
 VARIACION DE ELEMENTOS EN S PARA UN CAMBIO UNITARIO DE ELEMENTOS EN D

	Q [1]	Q [2]
P [1]	0.000206	0.000000
P [2]	0.000000	0.000206
P [3]	0.000001	0.000001
Q [4]	-0.999988	-0.999988
Q [5]	0.000000	0.000000
Q [6]	0.000000	0.000000
Q [7]	0.000000	0.000000
Q [8]	0.000000	0.000000
Q [11]	0.000012	0.000012
Q [12]	0.000000	0.000000
Q [13]	0.000000	0.000000
Q [14]	0.000000	0.000000
Q [15]	0.000000	0.000000

Matriz Base para Establecer la Variacion de Cada Elemento en S
 Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

M A T R I Z D E S E N S I B I L I D A D
 VARIACION DE ELEMENTOS EN S PARA UN CAMBIO UNITARIO DE ELEMENTOS EN D

	Q [1]	Q [2]
Q [20]	0.000000	0.000000
Q [21]	0.000000	0.000000
CV [11]	0.000003	0.000003
CV [12]	0.000006	0.000006
CV [18]	0.000000	0.000000
CV [19]	0.000000	0.000000
CV [20]	0.000000	0.000000
CV [21]	0.000000	0.000000

Matriz Base Para establecer la Variacion de cada Elemento en S
 Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

SISTEMA MODIFICADO

DATOS DE LOS NODOS.

CALCULOS DE LA SEPARACION.

NODO	PRESION (Psia)	GASTO (Lb/Seg)	ACEITE (B/d)	GAS (Pie3/d)	Vt (Pie/seg)	Vg
1	1152.3(V)	132.8(D)	4.9E+04	2.24E+08	0.45	1.29
2	1152.3(V)	132.8(D)	4.9E+04	2.24E+08	0.45	1.29
3	185.3(V)	409.0(D)				
4	1152.3(D)	-19.5(V)				
5	1145.2(D)	-3.0(V)				
6	1109.6(D)	-5.6(V)				
7	1109.6(D)	-5.6(V)				
8	1109.6(D)	-5.6(V)				
9	164.0(D)	0.0(D)	1.4E+05	3.45E+07	0.94	1.93
10	164.0(D)	0.0(D)	2.8E+05	2.04E+08	0.94	1.93
11	57.3(D)	-0.7(V)				
12	46.7(D)	-0.1(V)				
13	327.5(D)	-504.6(V)				

El Gasto Negativo Significa Masa Extraida del Sistema

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

DATOS DE LOS NODOS.

CALCULOS DE LA SEPARACION.

NODO	PRESION (Psia)	GASTO (Lb/Seg)	ACEITE (B/d)	GAS (Pie3/d)	Vt (Pie/seg)	Vg
14	164.0(D)	0.0(V)				
15	135.6(D)	2.8(V)				
16	114.2(D)	0.0(D)				
17	114.2(D)	0.0(D)				
18	114.2(D)	0.0(D)				
19	114.2(D)	0.0(D)				
20	114.2(D)	-56.3(V)				
21	1123.8(D)	-76.0(V)				

El Gasto Negativo Significa Masa Extraida del Sistema

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

D A T O S D E L O S C O N E C T O R E S

NUM	NODO (Ini)	NODO (Fin)	CONECTOR (Tipo)	CV	LONGITUD (Kms)	POTENCIA (Hp)	DIAMETRO (Pg)
1	1	3	VAL DE NIVEL	29.6 (D)			
2	2	3	VAL DE NIVEL	29.6 (D)			
3	1	4	LINEA DE GAS		0.007 (D)		12.0
4	2	4	LINEA DE GAS		0.007 (D)		12.0
5	4	5	LINEA DE GAS		475.500 (D)		24.0
6	5	6	VAL DE PRESION	25.0 (D)			
7	5	7	VAL DE PRESION	25.0 (D)			
8	5	8	VAL DE PRESION	25.0 (D)			
9	3	9	LINEA DE ACEITE		7.470 (D)		16.0
10	3	10	LINEA DE ACEITE		15.670 (D)		24.0
11	9	11	VAL DE NIVEL	145.9 (V)			
12	10	11	VAL DE NIVEL	243.2 (V)			
13	11	12	LINEA DE ACEITE		4.780 (D)		24.0
14	12	13	BOMBAS			8000	
15	9	14	LINEA DE GAS		0.006 (D)		16.0
16	10	14	LINEA DE GAS		0.006 (D)		24.0
17	14	15	LINEA DE GAS		6.174 (D)		24.0
18	15	16	VAL DE PRESION	585.4 (V)			

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

D A T O S D E L O S C O N E C T O R E S

NUM	NODO (Ini)	NODO (Fin)	CONECTOR (Tipo)	CV	LONGITUD (Kms)	POTENCIA (Hp)	DIAMETRO (Pg)
19	15	17	VAL DE PRESION	585.4 (V)			
20	15	18	VAL DE PRESION	585.4 (V)			
21	15	19	VAL DE PRESION	585.4 (V)			
22	16	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
23	17	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
24	18	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
25	19	20	LINEA DE GAS		0.003 (D)		24.0
26	20	21	COMPRESORAS			30000	

Presione Cualquier Tecla para CONTINUAR

REFERENCIAS

- ¹Crane Co. Flow of Fluids Through Valves, Fitting and Pipe. 1985
Technical paper No 410
- ²Stoner, M.A. (1969) Steady State Analysis of Gas Production,
Transmission and Distribution System, SPE 2554.
- ³UNAM . Bombeo y Compresion. Apuntes. Facultad de Ingenieria.
- ⁴Stoner, M.A. (1972) Sensitivity Analysis Applied to Steady State
Model of Natural Gas Transportation System. SPE 3056.
- ⁵Arnold K. (1984) Designing Oil and Gas Production System. WORLD
OIL.
- ⁶Wilde D.J. and Beightler, C.S. (1967) Foundations of
Optimizatios of Optimization. Prenteci-Hall Inc. Englewood
Cliffs N.J.
- ⁷Chiu U.Ikoku (1980) Natural Gas Engineering. Penn Well Books.
Tulsa Oklahoma.
- ⁸I. S. A. Handbook of Control Valves.
- ⁹IMIQ Guia práctica de Selección de Instrumentos. Vol 1. Calculo
y Selección de Valvulas de Control. 1988
- ¹⁰S.P.E. Production Facilities. Reprint Series. Society of
Petroleum Engineers, Richardson, TX. 1989.

- 11 Fisher (1988) Dimensionamiento de Válvulas de Control. Método Fisher. Seminario Ingeniería de Válvulas Mexico D.F.
- 12 Arredondo S.F. (1989) Apuntes Cátedra " Diseño Instalaciones Superficiales " UNAM.