

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE PETROLEO

TESIS DE BACHILLER

APLICACION DE LA COMPUTADORA ELECTRONICA EN LA
PREDICCION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS
DEL PETROLEO EN UN PROCESO DE SEPARACION

OCTAVIO EDUARDO DE-LELLIS GALLO

PROMOCION 1965

LIMA-PERU

1967

**MI AGRADECIMIENTO A TODOS LOS QUE ,
EN DIVERSAS FORMAS,HAN COLABORADO
EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.**

P R O L O G O

El cálculo de la composición de una mezcla de hidrocarburos en equilibrio, y la cantidad de cada uno de ellos en el estado líquido o gaseoso es una labor que demanda una cantidad considerable de tiempo debido a que el proceso, por ser de tanteos y errores, así lo requiere.

Estos cálculos demoran aún más cuando se trata de procesos de separación de varias etapas, tales como el de una batería de separadores, en los que debemos calcular las condiciones de equilibrio para cada etapa y necesitamos de datos adicionales tales como la gravedad específica del gas y líquido, el G.O.R., el grado API, etc.

Ahora, gracias a las Computadoras Electrónicas es posible realizar tales cálculos a grandes velocidades y obtener una buena exactitud con menos probabilidad de error.

El presente trabajo sirve para programar una Computadora para calcular las condiciones en el equilibrio de sistemas multicomponentes en una o varias etapas de separación (puede soportar hasta 99 componentes y 999 etapas) con aproximación decimal suficiente para cualquier trabajo de campo o de laboratorio y no requiere gran exactitud en los datos de entrada, los que pueden ser tomados de tablas u obtenidos experimentalmente.

Es mi mayor deseo, al presentar este trabajo, el contribuir aunque modestamente, a dar los primeros pasos en la aplicación de la Computadora Electrónica en la Industria del Petróleo en el Perú.

Lima, Marzo de 1967

**APLICACION DE LA COMPUTADORA ELECTRONICA EN LA PREDICION
DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PETROLEO EN UN
PROCESO DE SEPARACION**

PROLOGO

**CAPITULO I COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DE LOS SISTEMA DE
HIDROCARBUROS**

- SISTEMAS DE UN SOLO COMPONENTE
- SISTEMAS DE DOS COMPONENTES
- SISTEMA MULTICOMPONENTES

**CAPITULO II COMPORTAMIENTO CUANTITATIVO DE LOS SISTEMA DE
HIDROCARBUROS**

- SOLUCIONES IDEALES
- SOLUCIONES NO IDEALES

CAPITULO III EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA

CAPITULO IV APLICACIÓN DE LA COMPUTADORA ELECTRÓNICA

- PROGRAMA FUENTE
- DIAGRAMA DE BLOQUES

CAPITULO V SOLUCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA SOLUCIÓN

CONCLUSIONES

APENDICE

- I FORMATO DE TARJETAS DE DATOS**
- II FORMATO DE TARJETAS DE CONTROL MONITOR**
- III FORMATO DE SALIDA**
- IV REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE MÁQUINA**
- V PROGRAMA EJEMPLO.**

CAPITULO UNO

COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DE LOS SISTEMAS DE HIDROCARBUROS

CAPITULO I

COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DE LOS SISTEMAS DE HIDROCARBUROS SISTEMAS DE UN SOLO COMPONENTE

PARA UN SISTEMA DE UN SOLO COMPONENTE A UNA DETERMINADA TEMPERATURA, LA PRESIÓN ES LA QUE DETERMINA LA CLASE Y NÚMERO DE FASES QUE ESTÁN PRESENTES. SI SE PLOTEA LA PRESIÓN DE VAPOR COMO FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA, LA CURVA RESULTANTE SERÁ LA LÍNEA DIVISORIA DE LAS ÁREAS DE EXISTENCIA DEL LÍQUIDO Y EL VAPOR O GAS. EN UN DIAGRAMA PRESIÓN-TEMPERATURA PARA UN SOLO COMPONENTE, COMO EL DE LA FIG. 1, SE OBSERVA LO SIGUIENTE: LA LÍNEA OA REPRESENTA LA PRESIÓN DE VAPOR COMO FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA Y TODO LO QUE ESTÁ SOBRE ELLA SERÁ LA ZONA DE EXISTENCIA DEL ESTADO LÍQUIDO, Y LO QUE ESTÁ DEBAJO, LA DEL VAPOR O GAS. SI EL SISTEMA ESTÁ REPRESENTADO POR UN PUNTO SOBRE LA LÍNEA, QUIERE DECIR QUE ESTÁ COMPUESTO DE DOS FASES.

EL LÍMITE SUPERIOR DE LA CURVA DE PRESIÓN DE VAPOR ES EL PUNTO A, CONOCIDO COMO EL "PUNTO CRÍTICO", Y SUS COORDENADAS SERÁN LA PRESIÓN Y TEMPERATURA CRÍTICAS DEL SISTEMA. EN ESTE PUNTO, LAS PROPIEDADES INTENSIVAS DE LAS FASES LÍQUIDA Y VAPOR SON IDÉNTICAS Y NO ES POSIBLE DISTINGUIR UN ESTADO DE OTRO.

PARA UN SISTEMA DE UN SOLO COMPONENTE LA TEMPERATURA CRÍTICA PUEDE SER DEFINIDA COMO LA TEMPERATURA SOBRE LA CUAL EL VAPOR NO PUEDE SER LICUADO CON UN AUMENTO DE PRESIÓN. SIMILARMENTE, LA PRESIÓN CRÍTICA DE UN SISTEMA DE UN SOLO COMPONENTE PUEDE SER DEFINIDA COMO LA MÍNIMA PRESIÓN NECESARIA PARA LICUAR EL VAPOR EN EL PUNTO CRÍTICO. EL LÍMITE INFERIOR DE LA CURVA DE LA PRESIÓN

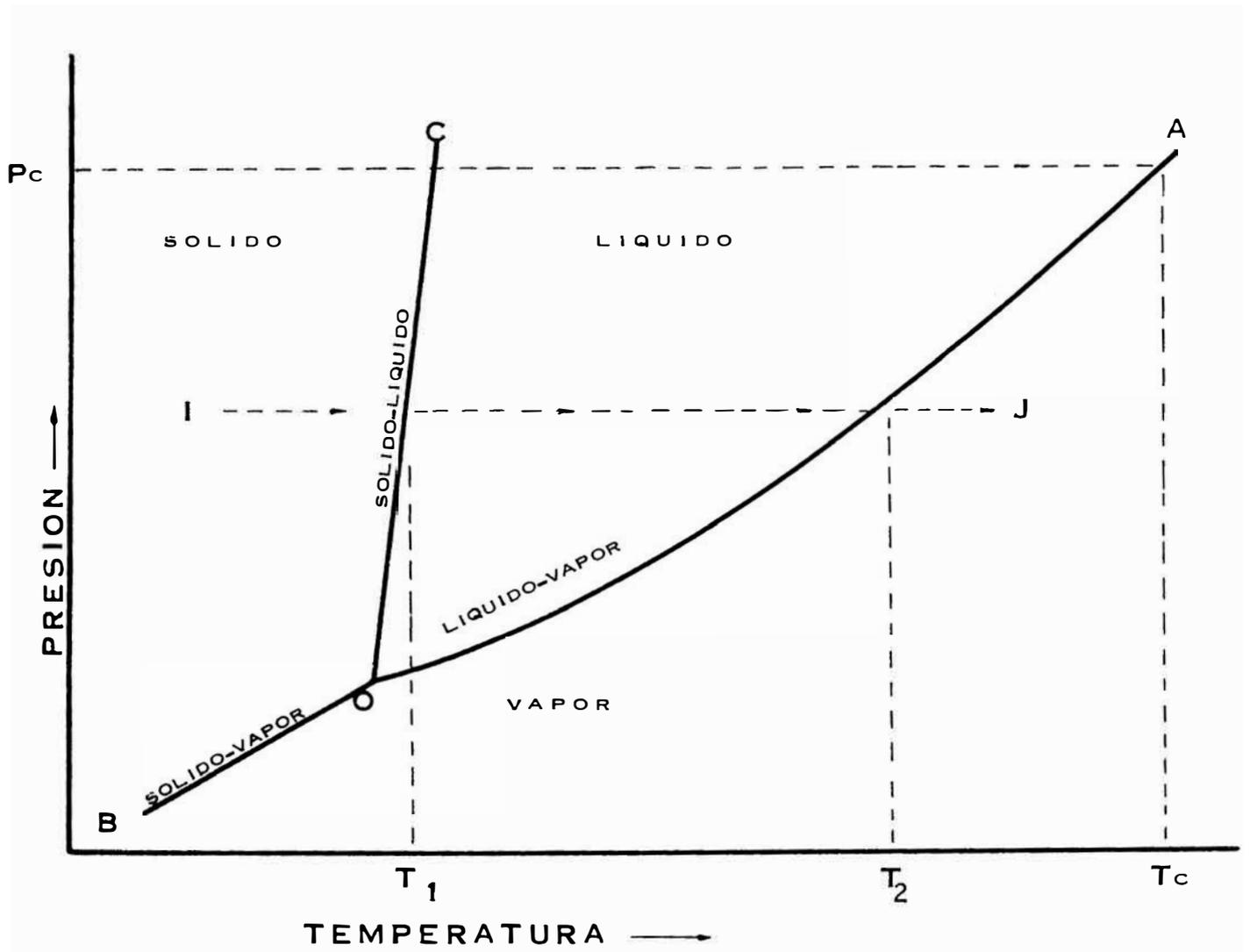


FIGURA 1.-DIAGRAMA TÍPICO PRESIÓN-TEMPERATURA PARA UN SISTEMA DE UN SOLO COMPONENTE.

DE VAPOR ES EL PUNTO O CONOCIDO COMO "PUNTO TRIPLE" POR COEXISTIR A ESA PRESIÓN Y TEMPERATURA LOS TRES ESTADOS: SÓLIDO, LÍQUIDO Y GASEOSO. EN VISTA DE QUE EL INGENIERO DE PETRÓLEO NO TRATA MAYORMENTE CON HIDROCARBUROS AL ESTADO SÓLIDO, NO ES NECESARIO UNA MAYOR EXPLICACIÓN DE ESTA REGIÓN DEL DIAGRAMA.

ES SUFICIENTE DECIR QUE LA CURVA DE LA PRESIÓN DE SUBLIMACIÓN DEL SÓLIDO DEFINIDA POR LA CURVA OB DIVIDE LAS ZONAS DE ECISTENCIA DEL VAPOR Y EL ESTADO SÓLIDO. LA LÍNEA OC REPRESENTA EL CAMBIO DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON LA PRESIÓN Y DIVIDE LAS ÁREAS DEL SÓLIDO Y LÍQUIDO. PARA LOS HIDROCARBUROS PUROS, EL PUNTO DE FUSIÓN AUMENTA CON LA PRESIÓN DE TAL MANERA QUE LA PENDIENTE DE LA RECTA ES POSITIVA, (OC); LA ÚNICA EXCEPCIÓN ES EL AGUA PUES TIENE PENDIENTE NEGATIVA.

DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN. OTRA MANERA DE DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DE LAS FASES EN UN SISTEMA ES POR MEDIO DEL DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN. CONSIDÉRESE UNA CANTIDAD FIJA DE UN FLUÍDO PURO A UNA TEMPERATURA FIJA CUYA PRESIÓN Y VOLUMEN INICIAL ESTÁN REPRESENTADAS POR EL PUNTO A EN EL DIAGRAMA DE LA FIG. 2. CONSIDÉRESE ADEMÁS QUE LA PRESIÓN ES LO SUFICIENTEMENTE BAJA COMO PARA MANTENER EL SISTEMA ENTERAMENTE EN EL ESTADO GASEOSO. A TEMPERATURA CONSTANTE UNA DISMINUCIÓN EN EL VOLUMEN ESTÁ REPRESENTADA POR LA CURVA AB. A MEDIDA QUE EL VOLUMEN DISMINUYE LA PRESIÓN AUMENTA Y LLEGA A SER EVENTUALMENTE IGUAL A LA PRESIÓN DE VAPOR, A CONDICIÓN DE QUE LA TEMPERATURA ESTÉ DEBAJO DE LA TEMPERATURA CRÍTICA. CUANDO ESTO OCURRE, EL LÍQUIDO EMPIEZA A CON

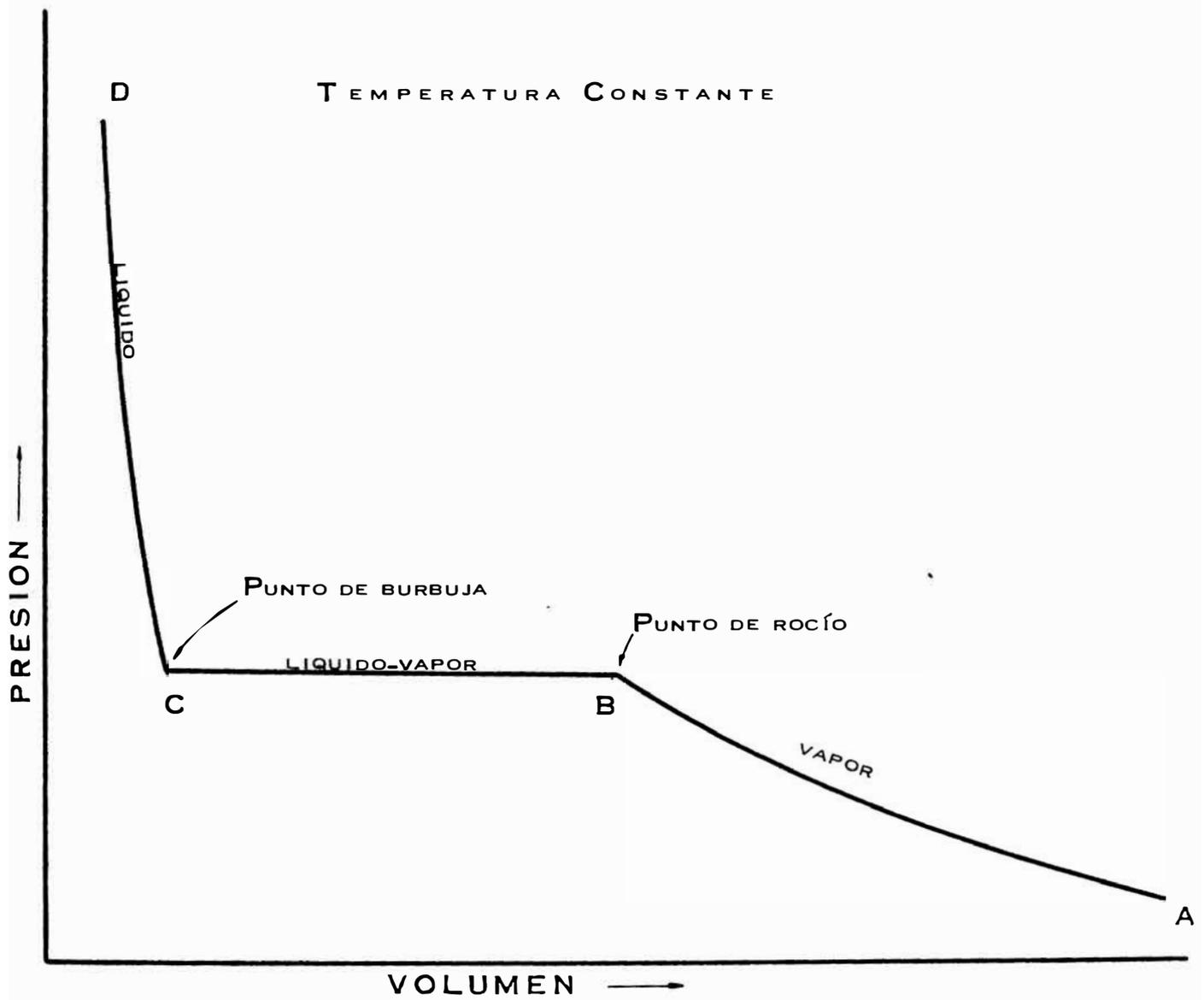


FIGURA 2.-ISOTERMA TÍPICA SOBRE UN DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN PARA UN SISTEMA DE UN SOLO COMPONENTE.

DENSARSE. ESTE PUNTO ES CONOCIDO COMO EL PUNTO DE ROCÍO O "DEW POINT" Y ESTÁ REPRESENTADO POR EL PUNTO B. SE HA DICHO PREVIAMENTE QUE A TEMPERATURA CONSTANTE EL LÍQUIDO Y VAPOR COEXISTEN A LA PRESIÓN DE VAPOR; EN CONSECUENCIA LA PRESIÓN PERMANECERÁ CONSTANTE A MEDIDA QUE MÁS Y MÁS LÍQUIDO SE VA CONDENSANDO Y EL VOLUMEN DEL SISTEMA VA DISMINUYENDO. ESTE PROCESO ESTÁ REPRESENTADO POR LA LÍNEA RECTA HORIZONTAL BC. EL PUNTO C ES CONOCIDO COMO EL PUNTO DE BURBUJA O "BUBBLE POINT" Y REPRESENTA UN SISTEMA EN EL CUAL TODO ES LÍQUIDO EXCEPTO UNA CANTIDAD INFINITESIMAL DE VAPOR. UNA CARACTERÍSTICA DE LOS SISTEMAS DE UN SOLO COMPONENTE ES QUE A UNA TEMPERATURA DADA, LA PRESIÓN DE VAPOR, LA PRESIÓN DE ROCÍO Y LA PRESIÓN DE BURBUJA SON IGUALES. DEBIDO A LA INCOMPRESIBILIDAD DE LOS LÍQUIDOS SE NECESITA UN GRAN AUMENTO DE PRESIÓN PARA OBTENER UNA DISMINUCIÓN RELATIVAMENTE PEQUEÑA DE VOLUMEN. POR TAL MOTIVO, LA ISOTERMA CD ES CASI PERPENDICULAR.

LA LÍNEA AB REPRESENTA UNA ISOTERMA A TRAVEZ DE LA ZONA DE VAPOR, LA LÍNEA BC ES A TRAVEZ DE LA ZONA DE DOS FASES Y LA LÍNEA CD A TRAVEZ DE LA ZONA DE LÍQUIDO. ES MUY USUAL INCLUIR VARIAS ISOTERMAS EN UN DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN TAL COMO EN LA FIG. 3. LA ISOTERMA EN LA TEMPERATURA CRÍTICA PRESENTA UNA INFLEXIÓN EN EL PUNTO C. ESTE PUNTO ES EL PUNTO CRÍTICO Y P_c ES LA PRESIÓN CRÍTICA. SI EL SISTEMA CONSISTE DE UNA MOL DE MATERIAL, EL VOLÚMEN CRÍTICO MOLAL SERÍA V_c . LA LÍNEA QUE UNE LOS PUNTOS DE BURBUJA REPRESENTA EL LUGAR GEOMÉTRICO DE LOS PUNTOS DE BURBUJA CON RESPECTO A LA TEMPERATURA. SIMILARMENTE, LA LÍNEA NC REPRESENTA LA VARIACIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO CON RESPECTO

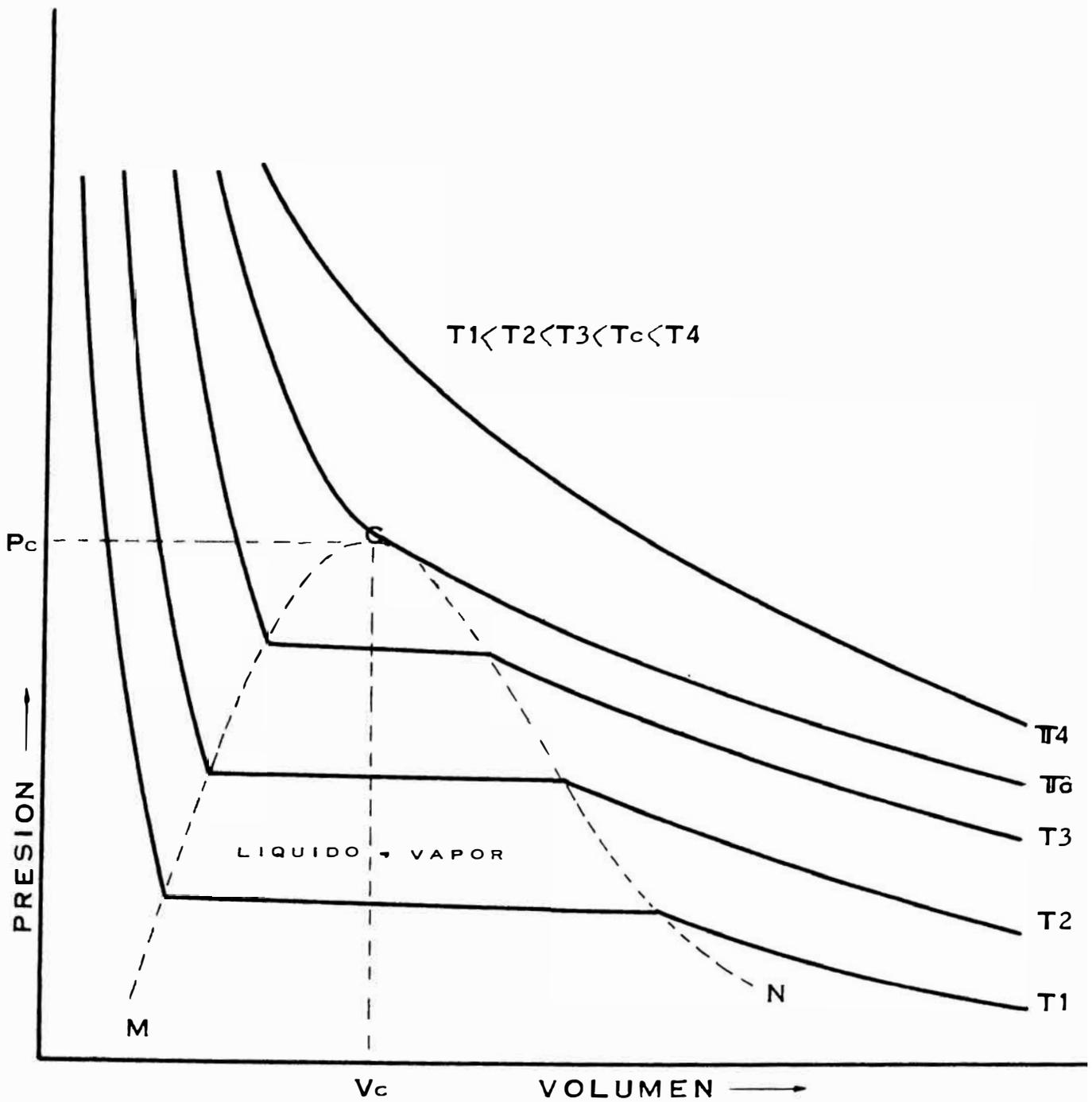


FIGURA 3.-DIAGRAMA TÍPICO PRESIÓN-VOLUMEN PARA SISTEMAS DE UN SOLO COMPONENTE, MOSTRANDO VARIAS ISOTERMAS.

A LA TEMPERATURA. EL ÁREA DEBAJO DE LAS LÍNEAS DE PUNTOS DE BURBUJA Y ROCÍO REPRESENTA LA REGIÓN DE LAS DOS FASES.

ES INTERESANTE CONOCER LA RELACIÓN ENTRE EL DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN Y EL DE PRESIÓN-TEMPERATURA DESCRITO ANTERIORMENTE; LAS LÍNEAS RECTAS HORIZONTALES A TRAVEZ DE LA REGIÓN DE DOS FASES REPRESENTAN LAS PRESIONES DE VAPOR A LAS TEMPERATURAS A LAS QUE LAS ISOTERMAS HAN SIDO TRAZADAS. SI ESTAS PRESIONES SE PLOTEAN COMO UNA FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA, LA LÍNEA OA DEL DIAGRAMA P-T ES LA MISMA (FIG. 1). PUESTO QUE LA PRESIÓN DE VAPOR, Y LAS PRESIONES DE ROCÍO Y BURBUJA SON IGUALES A DETERMINADA TEMPERATURA, ES APARENTE QUE LA LÍNEA OA DEL DIAGRAMA P-T TAMBIÉN REPRESENTA LAS PRESIONES DE ROCÍO Y BURBUJA COMO UNA FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

SISTEMAS DE DOS COMPONENTES

DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN. - CONSIDÉRESE EL DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN PARA UNA MEZCLA BINARIA DE HIDROCARBUROS CON UNA COMPOSICIÓN DADA. EN LAS DISCUSIONES SIGUIENTES LOS DOS COMPONENTES DE LA MEZCLA SERAN DESIGNADOS COMO EL "MÁS VOLÁTIL" Y EL "MENOS VOLÁTIL", DEPENDIENDO DE SU PRESIÓN DE VAPOR RELATIVA A DETERMINADA TEMPERATURA. EN LA FIG. 4, LA ISOTERMA EN LA FASE DEL VAPOR AB Y LA ISOTERMA EN LA PARTE DEL LÍQUIDO CD SON SIMILARES A LAS OBTENIDAS EN EL CASO DE SISTEMAS DE UN SOLO COMPONENTE. SIN EMBARGO, LA ISOTERMA CONTENIDA EN LA ZONA DE DOS FASES ES FUNDAMENTALMENTE DIFERENTE A SU CORRESPONDIENTE EN SISTEMAS DE UN SOLO COMPONENTE DADO QUE LA PRESIÓN AUMENTA A MEDIDA QUE EL SISTEMA PASA DEL PUNTO DE ROCÍO AL DE BURBUJA. ESTO SE DEBE A QUE LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO Y DEL VAPOR CAMBIAN CONTINUAMENTE A MEDIDA QUE EL SISTEMA PASA A TRAVEZ DE LA REGIÓN DE DOS FASES. EN EL PUNTO DE ROCÍO, LA COMPOSICIÓN DEL VAPOR ES IDÉNTICA A LA DEL SISTEMA Y LA FRACCIÓN INFINITESIMAL DE LÍQUIDO QUE CONDENSA ES MÁS RICA EN EL COMPONENTE MENOS VOLÁTIL. SIN EMBARGO, A MEDIDA QUE SE VA CONDENSANDO MÁS LÍQUIDO, SU COMPOSICIÓN RESPECTO AL MÁS VOLÁTIL AUMENTA LENTAMENTE (CON SU CORRESPONDIENTE AUMENTO DE PRESIÓN DE VAPOR) HASTA QUE LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO LLEGA A SER IGUAL A LA DEL SISTEMA, EN ESTE MOMENTO EL SISTEMA ESTÁ EN SU PRESIÓN DE BURBUJA. LA CANTIDAD INFINITESIMAL DE VAPOR REMANENTE EN ESTE PUNTO ES MÁS RICA EN EL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL QUE TODO EL SISTEMA. TAMBIÉN EXISTIRÁ UNA ISOTERMA SIMILAR A LA $ABCD$ PARA CADA TEMPERATURA. EN LA FIG. 5 SE MUESTRA UN DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN COMPLETO PARA UN SISTEMA QUE CONTIENE 52.4% EN PESO DE N-HEPTANO Y 47.6 N-PENTANO.

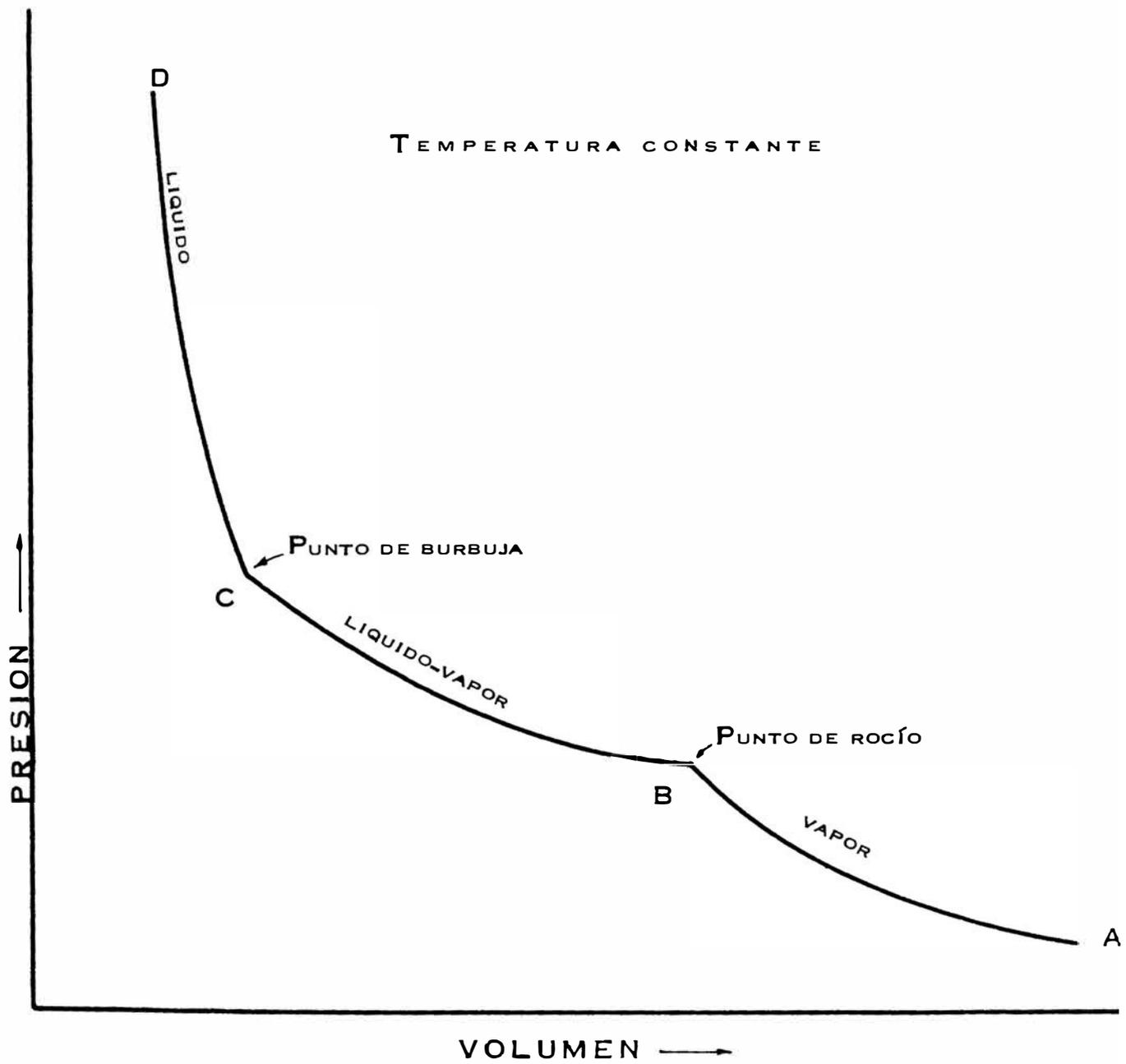


FIGURA 4.-ISOTERMA PRESIÓN-VOLUMEN PARA UN SISTEMA DE DOS COMPONENTES.

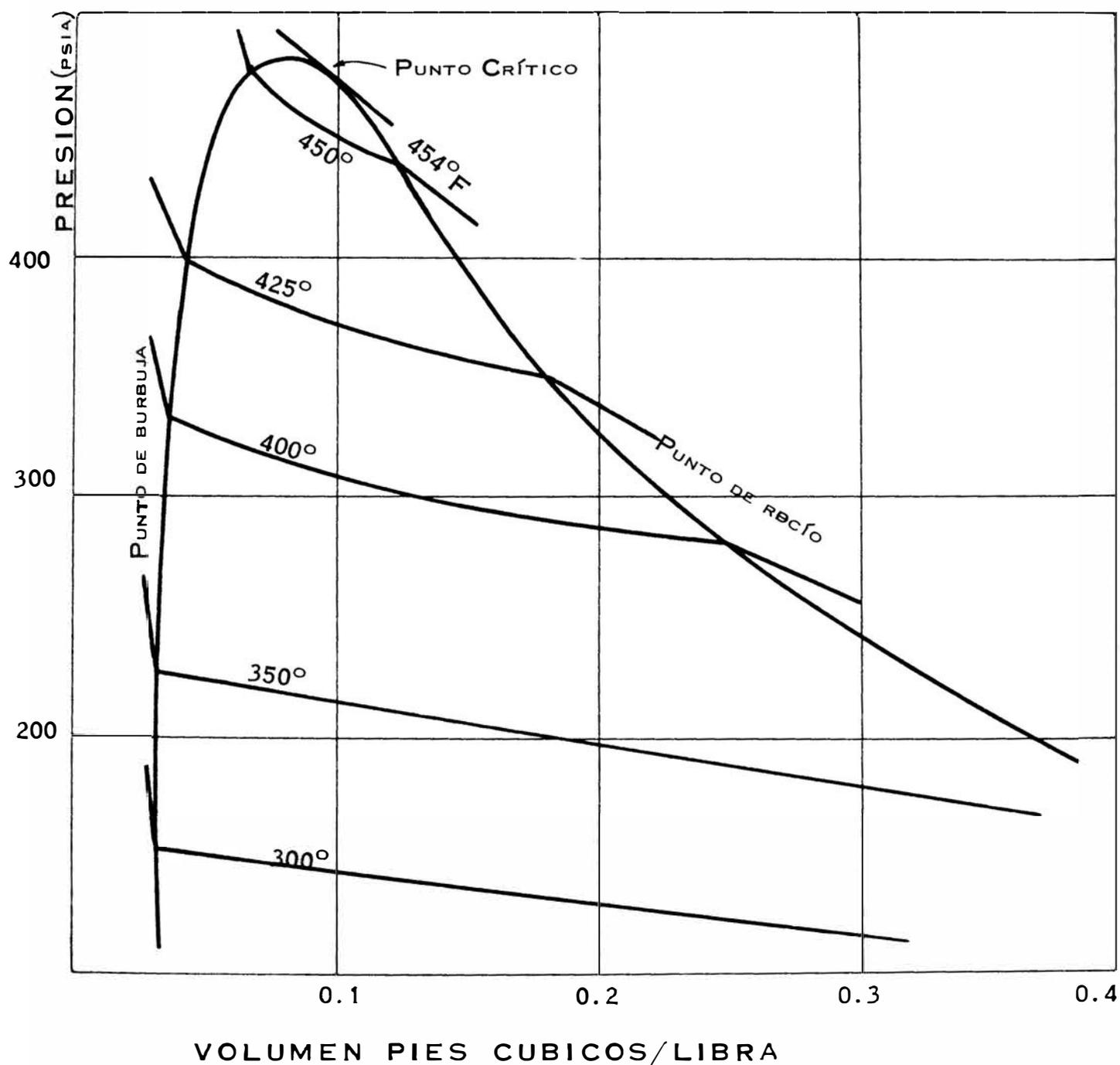


FIGURA 5.-DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN PARA EL SISTEMA DE N-PENTANO Y N-HEPTANO CONTENIENDO 52.4% EN PESO DE N/HEPTANO.

EL PUNTO CRÍTICO ES AQUEL EN QUE LAS LÍNEAS DE PUNTOS DE BURBUJA Y ROCÍO SE ENCUENTRAN. ESTO ES EQUIVALENTE A DECIR QUE LAS PROPIEDADES EN LA COEXISTENCIA DE LAS FASES LÍQUIDO Y VAPOR SON IDÉNTICAS EN EL PUNTO CRÍTICO. ESTE PUNTO NO ESTÁ LEJOS DE LA CÚSPIDE DE LA CURVA DE LA REGIÓN DE DOS FASES. ESO SE DEBE A QUE LAS ISOTERMAS AL ATRAVEZAR LA REGIÓN DE DOS FASES NO SON HORIZONTALES, PERO MANTIENEN UNA PENDIENTE FIJA.

DIAGRAMA PRESIÓN-TEMPERATURA. SI EN UN DIAGRAMA P-V SE PLOTEAN LAS PRESIONES DE BURBUJA Y ROCÍO PARA VARIAS ISOTERMAS, SE OBTIENE UN DIAGRAMA P-T SIMILAR AL DE LA FIG. 6. LA CURVA DE BURBUJA AC Y LA DE ROCÍO BC SE ENCUENTRAN EN EL PUNTO CRÍTICO C. LOS PUNTOS SITUADOS EN LA CURVA ACB REPRESENTAN UN SISTEMA CONSTITUIDO POR DOS FASES; LOS PUNTOS DEBAJO DE LA CURVA DE ROCÍO REPRESENTAN EL VAPOR Y LOS SITUADOS POR ENCIMA DE LA CURVA DE BURBUJA REPRESENTAN EL LÍQUIDO.

EL DIAGRAMA P-T INDICA LOS CAMBIOS DE FASE QUE OCURREN CUANDO VARÍA LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DEL SISTEMA. POR EJEMPLO, SI UN SISTEMA QUE ESTÁ SITUADO EN EL PUNTO I ES COMPRIMIDO ISOTÉRMICAMENTE (A UNA TEMPERATURA MENOR QUE T_c) A LO LARGO DE LA LÍNEA IM, SE OBSERVAN LOS SIGUIENTES CAMBIOS DE FASE:

EL SISTEMA ESTÁ ORIGINALMENTE AL ESTADO DE VAPOR; EL PUNTO DE ROCÍO J, EL LÍQUIDO EMPIEZA A FORMARSE, Y AL PASAR DE J A L MÁS Y MÁS LÍQUIDO SE VA CONDENSANDO. EN EL PUNTO DE BURBUJA L, EL SISTEMA ES EN SU MAYORÍA LÍQUIDO, SALVO UNA CANTIDAD INFINITESIMAL DE VAPOR; EN EL PUNTO M TODO EL SISTEMA ES LÍQUIDO.

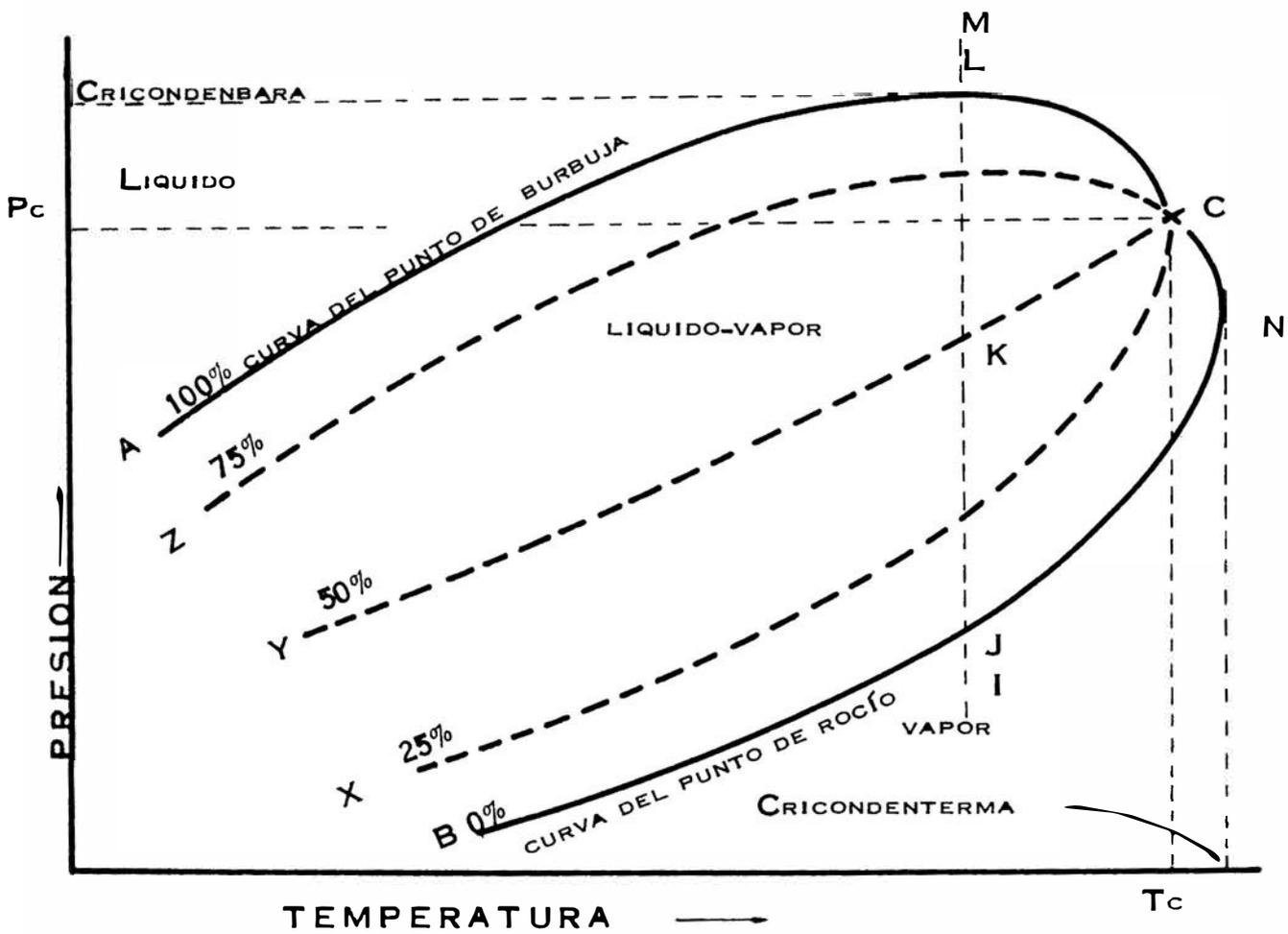


FIGURA 6.-DIAGRAMA TÍPICO PRESIÓN-TEMPERATURA PARA UN SISTEMA DE DOS COMPONENTES.

A VECES LOS DIAGRAMAS **P-T** INDICAN LA DISTRIBUCIÓN DEL VOLUMEN LÍQUIDO-VAPOR. ESTO SE COMPLEMENTA CON UNA SERIE DE CURVAS QUE REPRESENTAN UN CIERTO PORCENTAJE POR VOLUMEN DEL LÍQUIDO. LAS LÍNEAS PUNTEADAS **XC**, **YC**, **ZC** REPRESENTAN EL 25%, 50%, 75% EN VOLUMEN DEL LÍQUIDO RESPECTIVAMENTE. EL DIAGRAMA **P-T** MUESTRA CLARAMENTE QUE EL LÍQUIDO PUEDE EXISTIR A TEMPERATURAS SUPERIORES A LA TEMPERATURA CRÍTICA. LA MAYOR TEMPERATURA A LA CUAL PUEDE EXISTIR UN LÍQUIDO ES LA CRICONDENTERMA Y ESTÁ DEFINIDA POR LA TANGENTE VERTICAL A LA CURVA DE LAS DOS FASES. SIMILARMENTE, EL VAPOR PUEDE EXISTIR A PRESIONES MAYORES QUE LA PRESIÓN CRÍTICA; LA MÁXIMA PRESIÓN A LA CUAL PUEDE EXISTIR EL VAPOR SE LLAMA CRICONDENBARA Y ESTÁ DEFINIDA POR LA TANGENTE HORIZONTAL A LA CURVA DE DOS FASES.

DIAGRAMA COMPUESTO P-T. EL DIAGRAMA **P-T** PREVIAMENTE DESCRITO REPRESENTA EL COMPORTAMIENTO DE LAS FASES DE UN SISTEMA DE DOS COMPONENTES CON UNA COMPOSICIÓN TOTAL FIJA. EN CONSECUENCIA, PARA UN PAR DE COMPONENTES DADOS EXISTIRÁ UN DIAGRAMA **P-T** PARA CADA COMPONENTE PURO Y UN INFINITO NÚMERO DE DIAGRAMAS **P-T** PARA CADA UNA DE LAS POSIBILIDADES DE COMBINACIÓN DE AMBOS. SI SE PLOTEAN LAS CURVAS DE BURBUJA Y ROCÍO PARA LOS COMPONENTES PUROS Y PARA VARIAS MEZCLAS EN UN MISMO DIAGRAMA **P-T** SE OBTENDRÁ UN DIAGRAMA COMPUESTO **P-T** COMO EL DE LA FIG. 7.

LAS CURVAS **AB** Y **CD** REPRESENTAN LA PRESIÓN DE VAPOR COMO FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL COMPONENTE PURO MÁS VOLÁTIL Y DEL COMPONENTE PURO MENOS VOLÁTIL RESPECTIVAMENTE. LAS OTRAS TRES CURVAS MOSTRADAS EN EL DIAGRAMA Y

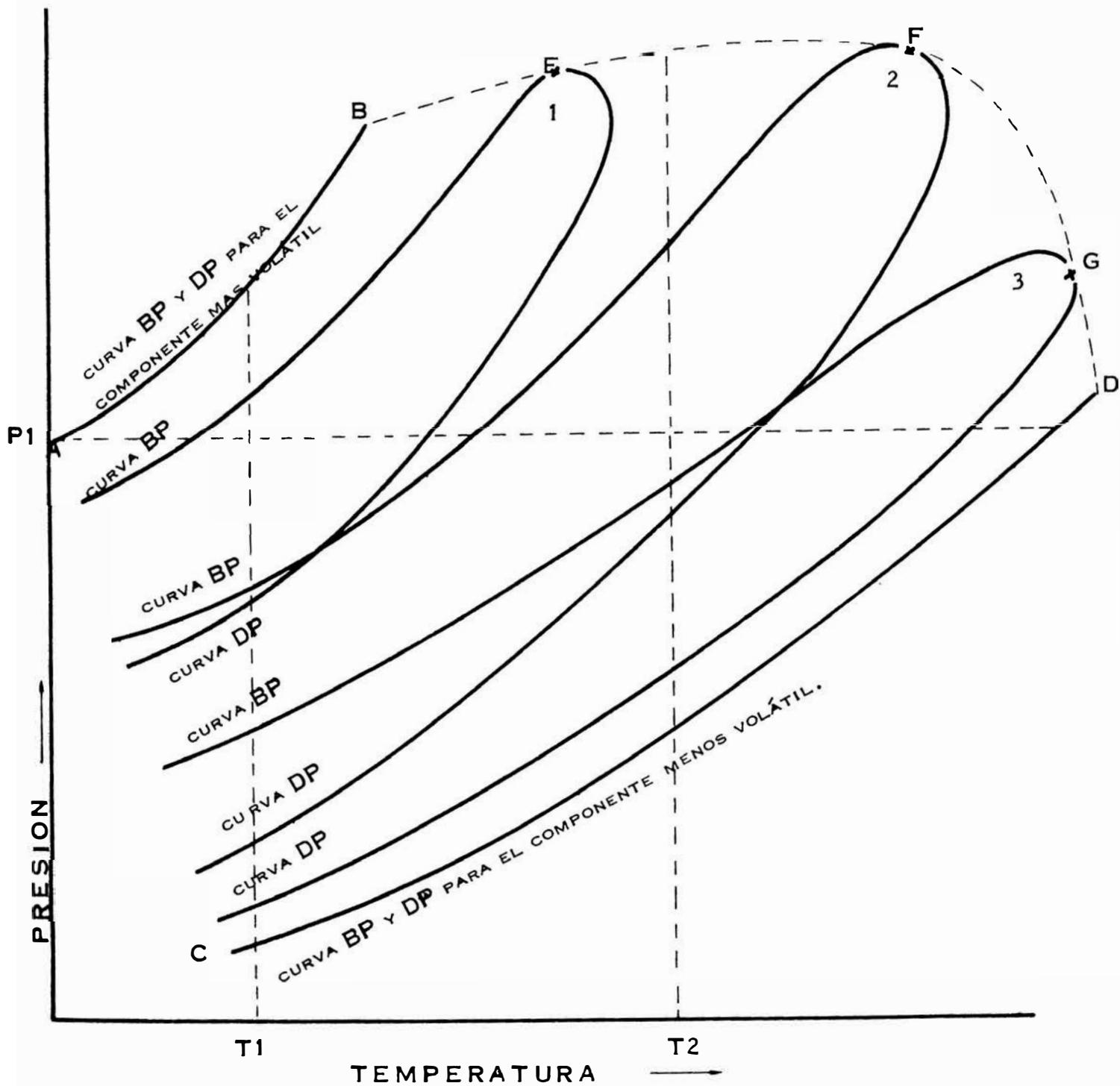


FIGURA 7.-DIAGRAMA COMPUESTO PRESIÓN-TEMPERATURA PARA UN SISTEMA TÍPICO DE DOS COMPONENTES.

NUMERADAS 1, 2, Y 3 DEFINEN LAS REGIONES DE DOS FASES PARA TRES DE LAS INFLUENTAS CURVAS QUE PUEDEN FORMARSE CON LOS DOS COMPONENTES PUROS. LA CURVA NÚMERO 1 REPRESENTA LA REGIÓN DE DOS FASES PARA UN SISTEMA QUE ES RELATIVAMENTE RICO EN EL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL. SIMILARMENTE, LA CURVA NÚMERO 3 REPRESENTA LA REGIÓN DE DOS FASES DE UN SISTEMA RELATIVAMENTE RICO EN EL COMPONENTE MENOS VOLÁTIL Y LA CURVA NÚMERO 2 REPRESENTA UN SISTEMA EN EL CUAL LAS COMPOSICIONES DE AMBOS COMPONENTES ESTÁN CASI IGUALES. ESTE DIAGRAMA DESCRIBE EL COMPORTAMIENTO DE FASES DE UN SISTEMA DE DOS COMPONENTES EN FUNCIÓN DE LA COMPOSICIÓN. LA LÍNEA PUNTEADA A TRAVEZ DE LOS PUNTOS CRÍTICOS B, E, F, G, Y D ES CONOCIDA COMO EL LUGAR CRÍTICO Y REPRESENTA LA POSICIÓN DEL PUNTO CRÍTICO COMO UNA FUNCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL SISTEMA.

EN LA FIG. 8 SE MUESTRAN LAS LÍNEAS CRÍTICAS DE SISTEMAS BINARIOS DE HIDROCARBUROS PARAFÍNICOS NORMALES. ESTE DIAGRAMA MUESTRA CLARAMENTE QUE LA PRESIÓN CRÍTICA PARA UNA MEZCLA PUEDE SER MAYOR QUE LA PRESIÓN CRÍTICA DE CADA COMPONENTE PURO. SE DEBE RECALCAR QUE LA PRESIÓN PSEUDO-CRÍTICA USADA EN CORRECCIÓN PARA EL COMPORTAMIENTO NO IDEAL DE GASES ES POR DEFINICIÓN ENTRE LAS PRESIONES CRÍTICAS DE LOS CONSTITUYENTES DEL SISTEMA DE DOS COMPONENTES. ES OBVIO QUE NO HAY RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN CRÍTICA DE UNA MEZCLA Y LA PRESIÓN PSEUDO-CRÍTICA. SIMILARMENTE, NO HAY RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA CRÍTICA Y LA TEMPERATURA PSEUDO-CRÍTICA DEL SISTEMA.

DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN. OTRA MANERA DE DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DE LAS FASES EN UN SISTEMA DE DOS COMPONENTES COMO FUNCIÓN DE SU COMPOSICIÓN

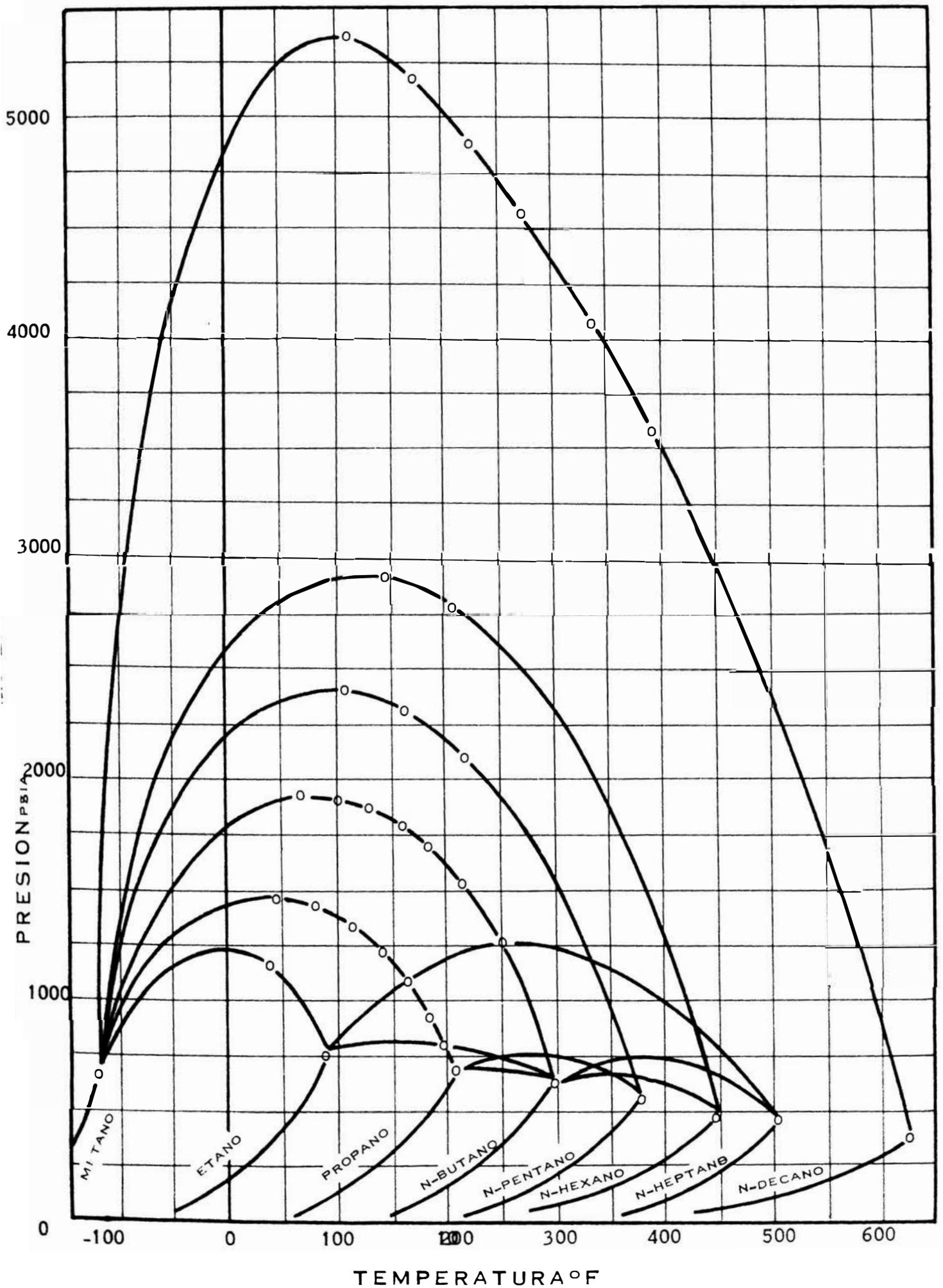


FIGURA 8

ES POR MEDIO DE UN DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN. ESTE TIPO DE DIAGRAMA DESCRIBE EL COMPORTAMIENTO A UNA TEMPERATURA FIJA. SE CONSTRUYE PLOTEANDO LA PRESIÓN DE ROCÍO Y DE BURBUJA COMO FUNCIÓN DE LA COMPOSICIÓN. LA FIG. NÚMERO 9 REPRESENTA UN DIAGRAMA TÍPICO PARA UN SISTEMA BINARIO. LOS PUNTOS A Y B REPRESENTAN LAS PRESIONES DE VAPOR, PRESIÓN DE ROCÍO Y PRESIÓN DE BURBUJA PARA EL COMPONENTE PURO MÁS VOLÁTIL Y PARA EL COMPONENTE PURO MENOS VOLÁTIL RESPECTIVAMENTE. EN IGUAL FORMA LOS PUNTOS C Y D REPRESENTAN LA PRESIÓN DE ROCÍO Y DE BURBUJA PARA UNA MEZCLA QUE CONTIENE 25% EN PESO DEL COMPONENTE MENOS VOLÁTIL Y 75% DEL MÁS VOLÁTIL. EL ÁREA BAJO LA LÍNEA DE ROCÍO REPRESENTA EL VAPOR, Y EL ÁREA SOBRE LA LÍNEA DE BURBUJA REPRESENTA LÍQUIDO, EL ÁREA ENTRE ESTAS DOS LÍNEAS REPRESENTA LA REGIÓN DE DOS FASES DONDE COEXISTEN EL LÍQUIDO Y EL VAPOR.

EL DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN SE RELACIONA CON EL DIAGRAMA PRESIÓN-TEMPERATURA DE LA SIGUIENTE MANERA: EN LA FIG. 7, T_L REPRESENTA LA TEMPERATURA FIJA A LA CUAL SE CONSTRUYE EL DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN. ESTA ISOTERMA INTERCEPTA A LA CURVA DE DOS FASES DE UNA COMPOSICIÓN EN LOS PUNTOS DE BURBUJA Y ROCÍO.

SI SE PLOTEAN ESTAS DOS PRESIONES Y LA COMPOSICIÓN, SE OBTIENEN DOS PUNTOS DEL DIAGRAMA. OTROS PARES DE PUNTOS PUEDEN SER OBTENIDOS DE LA MISMA MANERA CON OTRAS COMPOSICIONES PERO SIEMPRE A LA MISMA TEMPERATURA CONSTANTE. EN EL DIAGRAMA DE LA FIG. 9 LA COMPOSICIÓN ESTÁ EXPRESADA EN PORCENTAJE EN PESO DEL COMPONENTE MENOS VOLÁTIL. QUEDA ENTENDIDO QUE LA COMPOSICIÓN PUEDE SER

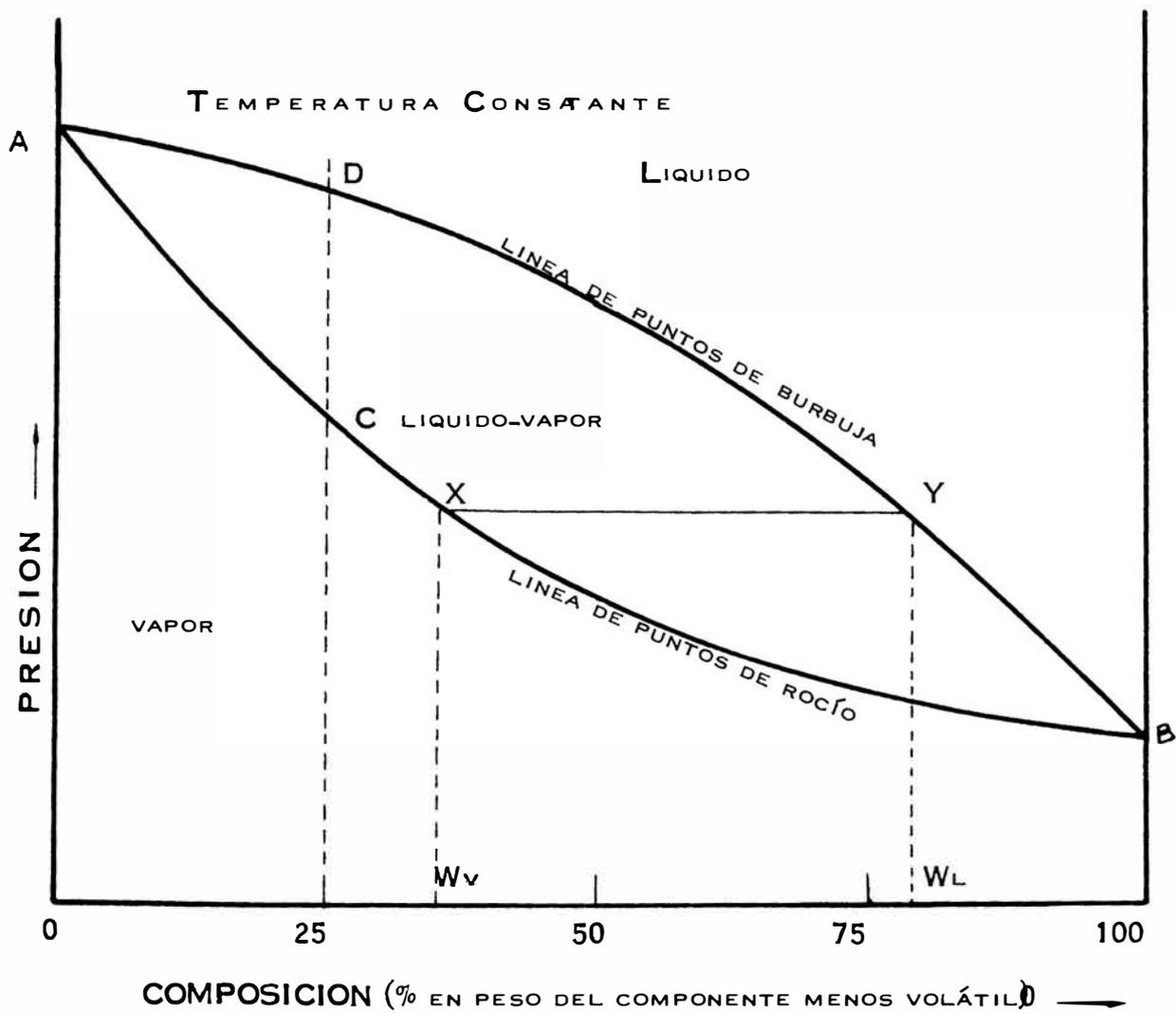


FIGURA 9.-DIAGRAMA TÍPICO PRESIÓN-COMPOSICIÓN PARA UN SISTEMA DE DOS COMPONENTES
 LA COMPOSICIÓN ESTÁ EXPRESADA EN TÉRMINOS DE % DE PESO DEL
 COMPONENTE MENOS VOLÁTIL.

EXPRESADA EN % DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL EN CUYO CASO LA PENDIENTE DE LAS CURVAS SERÍAN OPUESTAS. MÁS AÚN, LA COMPOSICIÓN PUEDE SER EXPRESADA EN MOL POR CIENTO O MOL FRACCIÓN.

CONSIDEREMOS EL SIGNIFICADO DE LA LÍNEA HORIZONTAL XY A TRAVEZ DE LA REGIÓN DE DOS FASES EN EL DIAGRAMA. LOS PUNTOS X E Y EN LAS EXTREMIDADES DE ESTA LÍNEA REPRESENTAN EL VAPOR Y EL LÍQUIDO QUE EXISTEN A LA MISMA TEMPERATURA (EL DIAGRAMA ES A TEMPERATURA CONSTANTE) Y A LA MISMA PRESIÓN (XY ES HORIZONTAL).

EN CONSECUENCIA, X E Y REPRESENTAN LA COMPOSICIÓN DE COEXISTENCIA DE LAS FASES LÍQUIDO Y VAPOR. EN OTRAS PALABRAS, A TEMPERATURA CONSTANTE Y A LA PRESIÓN REPRESENTADA POR LA LÍNEA HORIZONTAL XY , LA COMPOSICIÓN DEL VAPOR Y DEL LÍQUIDO QUE COEXISTEN EN LA REGIÓN DE DOS FASES ESTÁN DADOS POR W_V Y W_L QUE REPRESENTAN LOS PORCENTAJES EN PESO DEL COMPONENTE MENOS VOLÁTIL EN EL VAPOR Y LÍQUIDO RESPECTIVAMENTE. PARA LOGRAR UNA MEJOR COMPRESIÓN DEL SIGNIFICADO DEL DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN SE DESCRIBIRÁ EL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA QUE SE ENCUENTRA INICIALMENTE EN LA FASE DE VAPOR Y QUE ESTÁ SUJETO A UNA COMPRESIÓN ISOTÉRMICA A TRAVEZ DE LA REGIÓN DE DOS FASES.

EN EL DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN DE LA FIG. 10 LA COMPOSICIÓN SE EXPRESA EN MOL FRACCIÓN DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL. SI LA PRESIÓN SE INCREMENTA EN UN SISTEMA REPRESENTADO POR EL PUNTO A , NO OCURRIRÁ CAMBIO DE FASE HASTA QUE SE ALCANCE EL PUNTO DE ROCÍO B A LA PRESIÓN P_1 . EN EL PUNTO DE ROCÍO UNA CANTIDAD INFINITESIMAL DE LÍQUIDO ES FORMADA, CON UNA COMPOSICIÓN DADA POR X_1 .

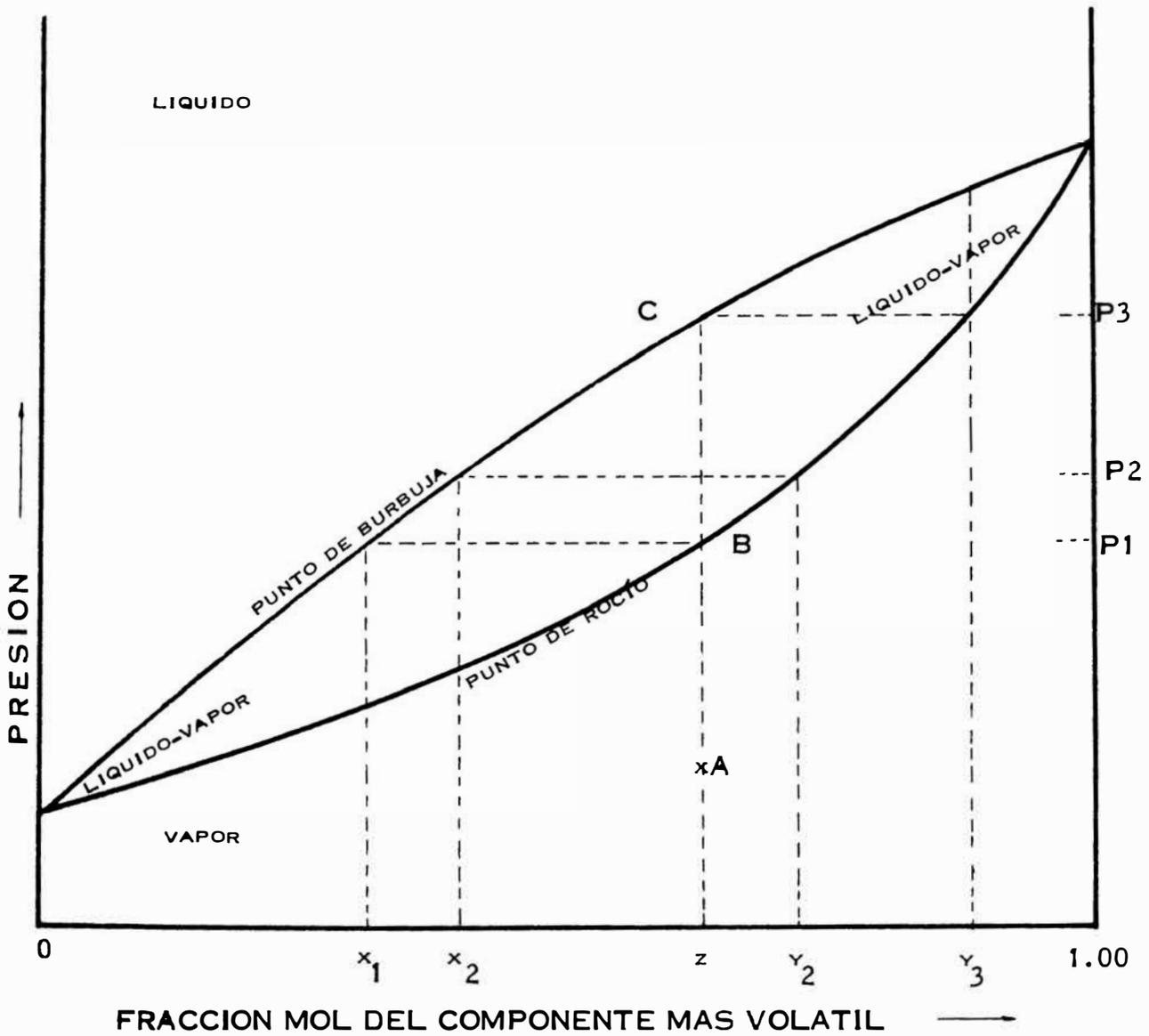


FIGURA 10.-DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN ILUSTRANDO UNA COMPRESIÓN ISOTÉRMICA A TRAVÉS DE LA REGIÓN DE DOS FASES.

LA COMPOSICIÓN DEL VAPOR ES TODAVÍA IGUAL A LA COMPOSICIÓN ORIGINAL Z .

A MEDIDA QUE LA PRESIÓN AUMENTA, MÁS LÍQUIDO SE FORMA Y LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO Y VAPOR COEXISTENTES ESTÁN DADOS POR LA PROYECCIÓN HORIZONTAL DE UNA LÍNEA A TRAVEZ DE LA REGIÓN DE DOS FASES. POR EJEMPLO, A LA PRESIÓN P_2 EL LÍQUIDO Y EL VAPOR ESTÁN PRESENTES Y SUS COMPOSICIONES ESTÁN DADAS POR X_2 E Y_2 . A ESTA PRESIÓN EL PUNTO DE BURBUJA ESTÁ REPRESENTADO POR EL PUNTO C. LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO ES IGUAL A LA COMPOSICIÓN ORIGINAL Z . LA CANTIDAD INFINITESIMAL DE VAPOR AÚN PRESENTE EN EL PUNTO DE BURBUJA ESTÁ COMPUESTA POR Y_3 .

COMO SE INDICÓ ANTERIORMENTE, LAS EXTREMIDADES DE LA LÍNEA HORIZONTAL A TRAVEZ DE LA ZONA DE DOS FASES REPRESENTA LA COMPOSICIÓN DE LAS FASES COEXISTENTES. SIN EMBARGO, NO SE DEBE CONFUNDIR LA COMPOSICIÓN DE UNA FASE CON LA CANTIDAD DE UNA FASE PRESENTE EN LA ZONA DE DOS FASES. EN EL PUNTO DE ROCÍO POR EJEMPLO, SÓLO EXISTE UNA PEQUEÑA CANTIDAD DE LÍQUIDO PRESENTE. PERO ESTÁ COMPUESTA DE UNA MOL FRACCIÓN FINITA DE LOS DOS COMPONENTES. SE PUEDE DEDUCIR UNA ECUACIÓN PARA DETERMINAR LAS CANTIDADES RELATIVAS DEL LÍQUIDO Y VAPOR EN UN SISTEMA DE DOS FASES:

N = NÚMERO TOTAL DE MOLES EN EL SISTEMA

N_L = NÚMERO TOTAL DE MOLES DE LÍQUIDO

N_V = NÚMERO DE MOLES DE VAPOR

Z = FRACCIÓN MOL DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL EN EL SISTEMA

X = FRACCIÓN MOL DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL EN EL LÍQUIDO

Y = FRACCIÓN MOL DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL EN EL VAPOR

ENTONCES:

$N \cdot Z$ = MOLES DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL EN EL SISTEMA.

$N_L \cdot X$ = MOLES DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL EN EL LÍQUIDO.

$N_V \cdot Y$ = MOLES DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL EN EL VAPOR.

DEBIDO QUE EL NÚMERO DE MOLES DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL EN EL LÍQUIDO Y EN EL VAPOR ES IGUAL AL NÚMERO DE MOLES DEL COMPONENTE MÁS VOLÁTIL EN EL SISTEMA,

TENDRÁ:

$$N \cdot Z = N_L \cdot X + N_V \cdot Y \quad \dots\dots\dots(1)$$

OBVIO QUE TAMBIÉN:

$$N_L = N - N_V \quad \dots\dots\dots(2)$$

SUBSTITUYENDO EN LA ECUACIÓN 1

$$N \cdot Z = (N - N_V) \cdot X + N_V \cdot Y$$

ARREGLANDO QUEDA:

$$\frac{N_V}{N} = \frac{Z - X}{Y - X} \quad \dots\dots\dots(3)$$

DE MODO SIMILARMENTE SI SE DESPEJA N_L DE LA ECUACIÓN (1) SE OBTIENE:

$$\frac{N_L}{N} = \frac{Z - Y}{X - Y} \quad \dots\dots\dots(4)$$

LA INTERPRETACIÓN GEOMÉTRICA DE LAS ECUACIONES (3) Y (4) SE MUESTRA EN LA FIGURA 11

SI $Z - X = AB$ Y $Y - X = AC$ ENTONCES LA ECUACIÓN (3) SE CONVIERTE EN:

$$\frac{N_V}{N} = \frac{Z - X}{Y - X} = \frac{AB}{AC}$$

DE MODO SIMILARMENTE LA ECUACIÓN (4) SE CONVIERTE EN:

$$\frac{N_L}{N} = \frac{Z - Y}{X - Y} = \frac{BC}{AC}$$

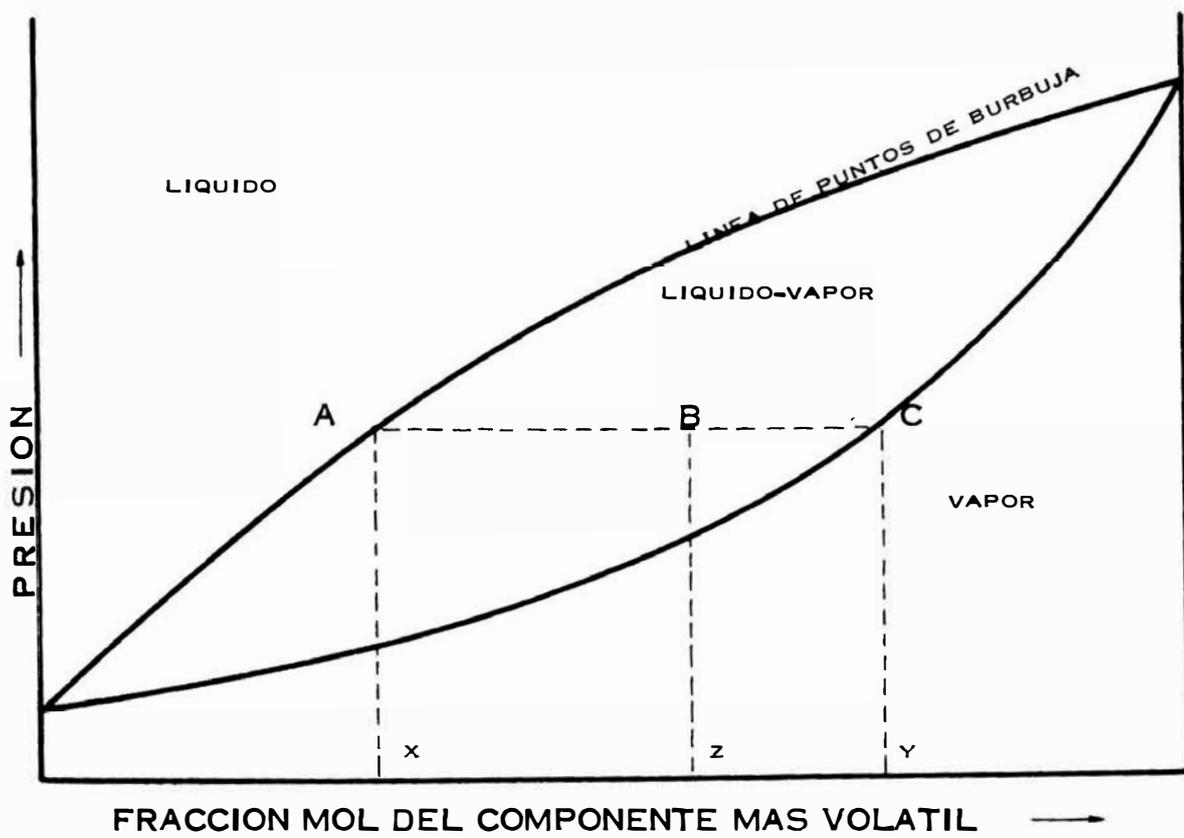


FIGURA 11.-INTERPRETACIÓN GEOMÉTRICA DE LA ECUACIÓN PARA LA CANTIDAD DE LÍQUIDO Y VAPOR EN LA REGIÓN DE DOS FASES.

SISTEMAS MULTICOMPONENTES

EL COMPORTAMIENTO DE LAS FASES DE UN SISTEMA MULTICOMPONENTE DE HIDROCARBUROS EN LA REGIÓN LÍQUIDO-VAPOR ES MUY SIMILAR AL DE LOS SISTEMAS BINARIOS. SIN EMBARGO, ES OBVIO QUE LOS DIAGRAMAS BIDIMENSIONALES PRESIÓN-COMPOSICIÓN Y TEMPERATURA-COMPOSICIÓN NO SON SUFICIENTES PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DE FASES DE LOS SISTEMAS MULTICOMPONENTES.

PARA CIERTOS SISTEMAS QUE CONTIENEN UNA CANTIDAD APRECIABLE DE CONSTITUYENTES NO VOLÁTILES (COMO EN CIERTOS CRUDOS) LOS PUNTOS DE ROCÍO PUEDEN ESTAR A PRESIONES TAN BAJAS QUE RESULTEN PRÁCTICAMENTE INACCESIBLES. ESTE HECHO MODIFICARÁ NOTABLEMENTE EL COMPORTAMIENTO DE ESTOS SISTEMAS.

DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN. PARA UN SISTEMA MULTICOMPONENTE RELATIVAMENTE VOLÁTIL, UNA GASOLINA POR EJEMPLO, UNA ISOTERMA EN EL DIAGRAMA P-V ES SIMILAR A SU CORRESPONDIENTE EN UN SISTEMA BINARIO. (FIG. 4). SIN EMBARGO, SE ENCUENTRA QUE COMÚNMENTE EN EL PUNTO DE ROCÍO EL QUIEBRE EN LA ISOTERMA P-V NO ESTAN PRONUNCIADO. EN CONSECUENCIA, EN SISTEMAS DE ESTE TIPO SERÁ MUY DIFÍCIL ENCONTRAR EL PUNTO DE ROCÍO DE ESTA MANERA. ESTA DIFICULTAD PUEDE SER SALVADA EXPERIMENTALMENTE USANDO UNA CELDA PVT EN LA QUE SE PUEDA OBSERVAR LA APARICIÓN DE LA PRIMERA GOTA DE LÍQUIDO.

UNA ISOTERMA P-V TÍPICA PARA UN SISTEMA TAL COMO UN PETRÓLEO CRUDO SE MUESTRA EN LA FIG. 12. EL PUNTO A REPRESENTA UN SISTEMA ENTERAMENTE LÍQUIDO A UNA PRESIÓN RELATIVAMENTE ALTA. A MEDIDA QUE LA PRESIÓN DISMINUYE, ISOTÉRMICAMENTE, SE LOGRA ALCANZAR EL PUNTO DE BURBUJA B. LA PRESIÓN DE BURBUJA ESTÁ GENERALMENTE DESIGNADA COMO LA PRESIÓN DE SATURACIÓN PARA (P_s) LOS SISTEMAS TALES COMO PETRÓLEO CRUDO. ESTO SE DEBE AL HECHO QUE EN LOS PETRÓLEOS

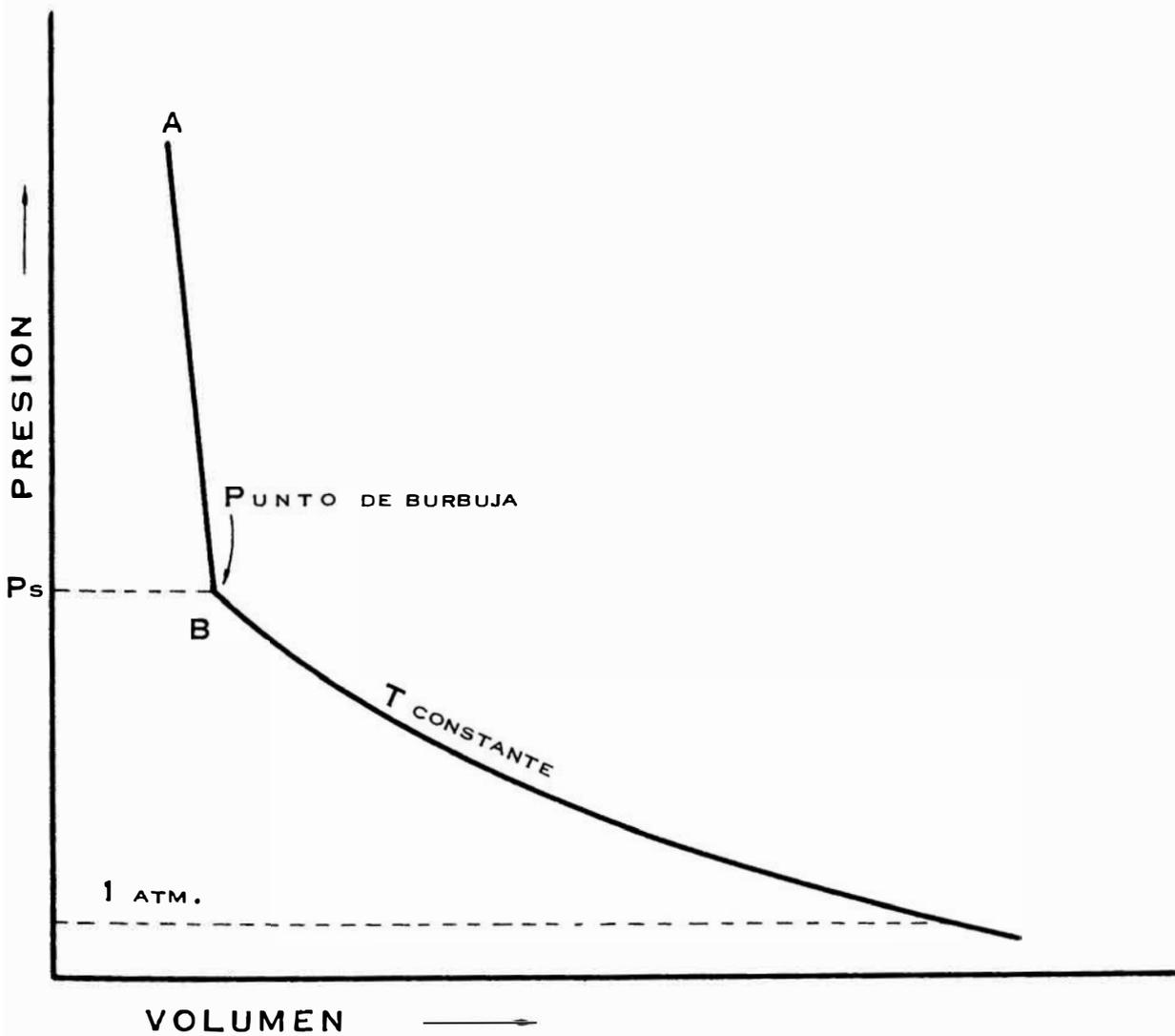


FIGURA 12.-ISOTERMA PRESIÓN-VOLUMEN PARA UN PETRÓLEO CRUDO.

CRUDOS ES HABITUAL CONSIDERAR LA FASE VAPOR QUE SE FORMA EN EL PUNTO DE BURBUJA COMO EL GAS QUE SE DISEUELVE EN LA FASE LÍQUIDA. ESTO ES ENTERAMENTE JUSTIFICABLE, PUESTO QUE LA FORMACION DE VAPOR EN CUALQUIER SISTEMA PUEDE SER CONSIDERADA COMO SALIENDO DE LA SOLUCIÓN.

EN CONSECUENCIA, A LA PRESIÓN DE SATURACIÓN, EL LÍQUIDO SE CONSIDERA SATURADO DE GAS, Y A MEDIDA QUE DISMINUYE LA PRESIÓN, SE FORMA UNA LIBERACIÓN DE GAS, QUE ES LA FASE DE VAPOR. A MEDIDA QUE LA PRESIÓN DECRECE DEBAJO DE P_s , MÁS Y MÁS GAS SE VA FORMANDO, ES DECIR VA SALIENDO DE LA SOLUCIÓN. AL ALCANZAR LA PRESIÓN ATMÓSFERICA, EL SISTEMA CONSTA GENERALMENTE DE DOS FASES LÍQUIDO Y VAPOR, EN ESTOS CASOS EL PUNTO DE ROCÍO ESTÁ A TAN BAJA PRESIÓN QUE SE HACE PRÁCTICAMENTE INACCESIBLE.

DIAGRAMA PRESIÓN-TEMPERATURA.- COMO SE ESTABLECIÓ ANTERIORMENTE, LAS CARACTERÍSTICAS DEL DIAGRAMA $P-T$ PARA LOS SISTEMA MULTICOMPONENTES Y LOS DE DOS COMPONENTES SON MUY SIMILARES. LOS DIAGRAMAS PRESIÓN-TEMPERATURA DE SISTEMAS MULTICOMPONENTES SE USAN GENERALMENTE PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DE FASES DE UN RESERVORIO DE PETRÓLEO. SI CONSIDERAMOS UNA MEZCLA DE HIDROCARBUROS CON UNA COMPOSICIÓN DADA, SE OBTIENE UN DIAGRAMA $P-T$ COMO EL DE LA FIGURA 13. ESTE DIAGRAMA, QUE INDICA PRESIONES DE ROCÍO EXTREMADAMENTE BAJAS A BAJAS TEMPERATURAS REPRESENTA EL CASO DE UN PETRÓLEO CRUDO. SI LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DE SUPERFICIE ESTÁN INDICADAS POR EL PUNTO (P_f, T_f) Y LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DEL RESERVORIO POR EL PUNTO B (P_o, T_o) , EL DIAGRAMA REPRESENTARÍA UN RESERVORIO CON CORONA DE GAS (GAS CAP) Y QUE CONTIENE AMBAS

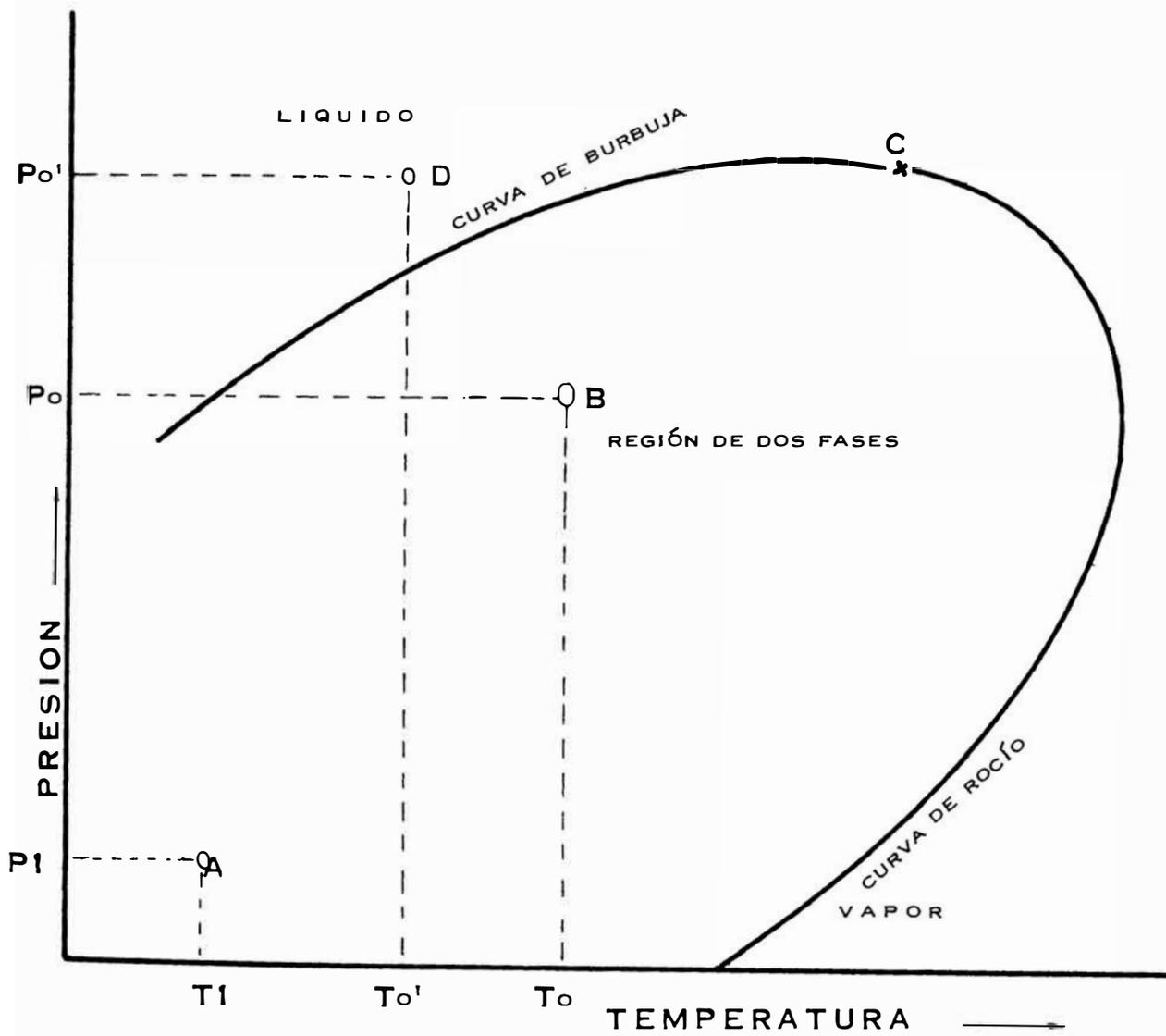


FIGURA 13.-DIAGRAMA PRESIÓN-TEMPERATURA PARA UN SISTEMA MULTICOMPONENTE CUYAS PROPIEDADES SON SIMILARES A LAS DE UN PETRÓLEO CRUDO.

FASES Y QUE PRODUCE LÍQUIDO Y GAS. SI LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DEL RESERVORIO ESTÁN REPRESENTADAS POR EL PUNTO D (P_0, T_0), EL DIAGRAMA REPRESENTARÍA UN RESERVORIO NO SATURADO (NO GAS LIBRE) Y QUE PRODUCIRÍA LÍQUIDO Y GAS.

EN EL DIAGRAMA P-T MOSTRADO EN LA FIG. 14, REPRESENTA UN RESERVORIO DE GAS SECO. SI LAS CONDICIONES DE SUPERFICIE ESTÁN REPRESENTADAS EN EL PUNTO F, EL RESERVORIO PRODUCIRÁ GAS SECO. POR OTRO LADO, SI LAS CONDICIONES DE SUPERFICIE ESTÁN DEFINIDAS POR EL PUNTO G, EL RESERVORIO PRODUCIRÁ GAS Y LÍQUIDO Y SERÍA UN RESERVORIO DE GAS CONDENSADO. UN RESERVORIO CUYAS CONDICIONES ESTÁN DEFINIDAS POR EL PUNTO H Y LAS CONDICIONES DE SUPERFICIE POR EL PUNTO F ES CONOCIDO COMO UN RESERVORIO DE GAS CONDENSADO RETRÓGADO.

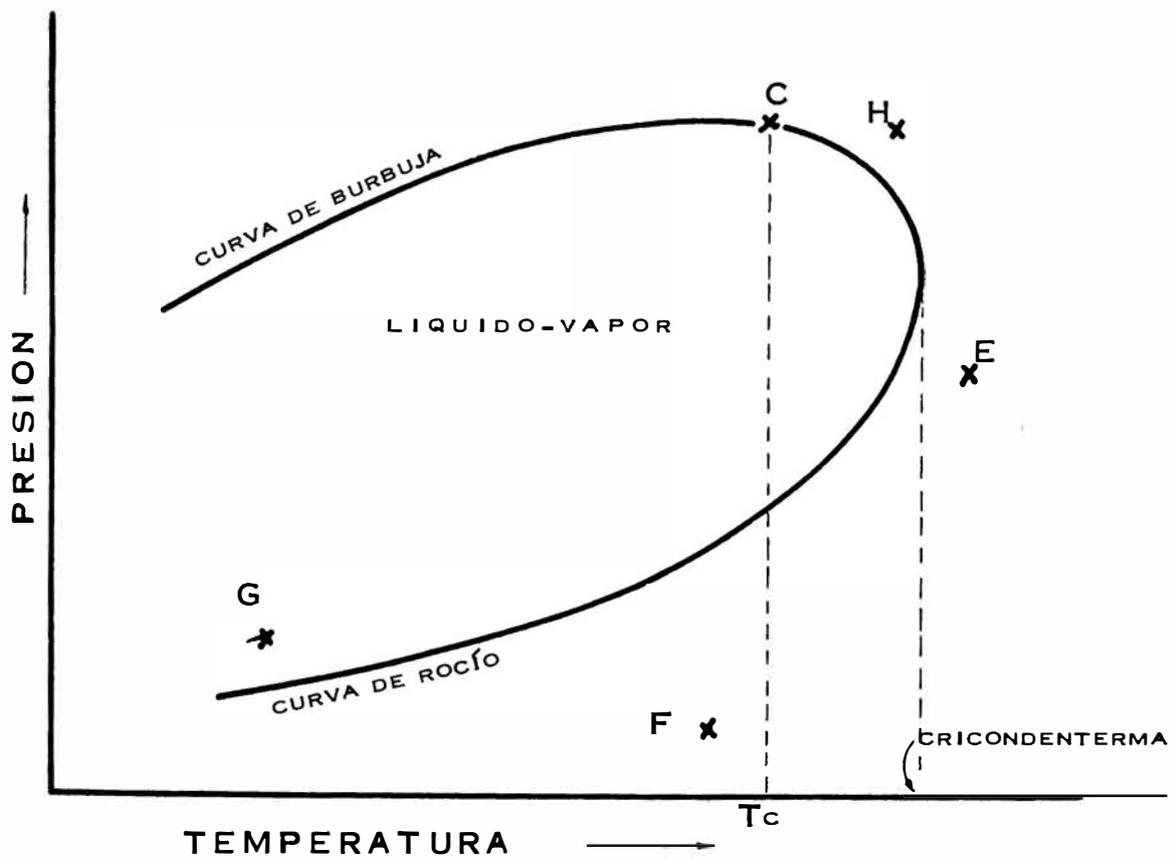


FIGURA 14.-DIAGRAMA PRESIÓN-TEMPERATURA ILUSTRANDO EL COMPORTAMIENTO DE FASES DE UN RESERVOIRIO DE PETRÓLEO.

CAPITULO DOS

COMPORTAMIENTO CUANTITATIVO DE LOS SISTEMAS DE HIDROCARBUROS

CAPITULO II

COMPORTAMIENTO CUANTITATIVO DE LOS SISTEMAS DE HIDROCARBUROS SOLUCIONES IDEALES

UNA SOLUCIÓN ES DEFINIDA COMO LA MEZCLA HOMOGÉNEA DE DOS SUBSTANCIAS, QUE TIENEN LA MISMA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LAS MISMAS PROPIEDADES FÍSICAS. EN UNA SOLUCIÓN IDEAL NO EXISTEN FUERZAS DE ATRACCIÓN ENTRE LAS MOLÉCULAS DE LOS CONSTITUYENTES. ASÍ, SI UNA SOLUCIÓN IDEAL ESTÁ COMPUESTA DE MOLÉCULAS DE A Y DE B, LA FUERZA DE ATRACCIÓN ENTRE LAS MOLÉCULAS DE A Y LAS DE B SERÍA LA MISMA QUE ENTRE DOS MOLÉCULAS DE A O DOS DE B. EN CONSECUENCIA, NO HAY EFECTO DE CALENTAMIENTO CUANDO SE MEZCLAN DOS COMPONENTES DE UNA SOLUCIÓN IDEAL. MÁS AÚN, EL VOLUMEN RESULTANTE ES IGUAL A LA SUMA DE LOS VOLÚMENES DE LOS COMPONENTES, ES DECIR:

$$V = \sum V_i$$

DONDE V_i ES EL VOLUMEN DEL COMPONENTE I. LAS OTRAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UNA SOLUCIÓN IDEAL PUEDEN SER CALCULADAS PROMEDIANDO LAS PROPIEDADES DE LOS CONSTITUYENTES DE MANERA ADECUADA. POR EJEMPLO, LA DENSIDAD PUEDE SER CALCULADA POR:

$$D_{\text{SOLUCIÓN}} = \sum \text{FRACCIÓN VOL.}_i \times D_i^{\circ}$$

DONDE D_i° ES LA DENSIDAD DEL COMPONENTE I AL ESTADO PURO. EN REALIDAD, LA SOLUCIÓN IDEAL NO EXISTE, PERO CUANDO LOS COMPONENTES TIENEN UN GRAN PARECIDO ENTRE ELLOS, EL COMPORTAMIENTO DE LA SOLUCIÓN SE ACERCA BASTANTE AL DE UNA SOLUCIÓN IDEAL.

LA PRESIÓN DE VAPOR EN UNA SOLUCIÓN IDEAL. LA PRESIÓN DE VAPOR DE UNA SOLU

CIÓN IDEAL PUEDE SER CALCULADA USANDO LA LEY DE **RAOULT**. ESTA LEY ESTABLECE QUE PARA UNA SOLUCIÓN IDEAL, LA PRESIÓN PARCIAL DE UN COMPONENTE EN EL VAPOR ES IGUAL AL PRODUCTO DE LA MOL FRACCIÓN DE ESE COMPONENTE EN EL LÍQUIDO Y LA PRESIÓN DE VAPOR DEL COMPONENTE PURO, EXPRESADO EN FORMA DE ECUACIÓN:

$$P_A^o = x_A \cdot P_A^o$$

DONDE P_A ES LA PRESIÓN PARCIAL DEL COMPONENTE A EN EL VAPOR, x_A ES LA MOL FRACCIÓN DEL COMPONENTE A EN EL LÍQUIDO Y P_A^o ES LA PRESIÓN DE VAPOR DE A PURO. EN UNA SOLUCIÓN IDEAL, LA LEY DE **RAOULT** ES APLICABLE A CUALQUIER COMPONENTE DE TAL MANERA QUE:

$$P_i = x_i \cdot P_i^o \dots\dots\dots(2.1)$$

DONDE EL SUBÍNDICE I DESIGNA AL COMPONENTE I DE LA MEZCLA. EN CONSECUENCIA SI SE CONOCE LA PRESIÓN DE VAPOR DE CADA COMPONENTE PURO, ES POSIBLE CALCULAR LA PRESIÓN DE VAPOR EN UNA SOLUCIÓN IDEAL CONOCIENDO LAS CONCENTRACIONES A UNA TEMPERATURA DADA. LA PRESIÓN TOTAL EJERCIDA POR EL VAPOR ES IGUAL A LA SUMA DE LAS PRESIONES PARCIALES DE SUS COMPONENTES, ES DECIR:

$$P_T = \sum x_i \cdot P_i^o \dots\dots\dots(2.2)$$

DONDE P_T ES LA PRESIÓN TOTAL. ESTA PRESIÓN TOTAL ES LA PRESIÓN DE VAPOR DE LA SOLUCIÓN. MÁS AÚN, LA PRESIÓN TOTAL ES TAMBIÉN LA PRESIÓN DE BURBUJA PUESTO QUE LA APLICACIÓN DE UNA PRESIÓN INFINITESIMAL DARÁ COMO RESULTADO UN SISTEMA TODO LÍQUIDO.

SI LA CANTIDAD INFINITESIMAL DE VAPOR QUE EXISTE EN EL PUNTO DE BURBUJA SE CONSIDERA COMO GAS PERFECTO, SE LE PUEDE APLICAR DE LEY DE **DALTON** DE LAS PRESIONES PARCIALES Y:

$$P_i = y_i \cdot P_T \quad \text{ó} \quad y_i = \frac{P_i}{P_T} \quad \dots\dots(2.3)$$

DONDE P_i ES LA PRESIÓN PARCIAL DEL COMPONENTE i EN EL VAPOR, y_i ES LA FRACCIÓN MOL DEL COMPONENTE i EN EL VAPOR Y P_T ES LA PRESIÓN TOTAL. EN CONSECUENCIA LA PRESIÓN DE BURBUJA DE UNA SOLUCIÓN PUEDE SER CALCULADA USANDO LA ECUACIÓN (2.2) Y LA COMPOSICIÓN DEL VAPOR EN EL PUNTO DE BURBUJA PUEDE SER CALCULADA CON LA ECUACIÓN (2.3).

EN LA FIG. 15 SE MUESTRA UN DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN PARA UN SISTEMA PROPANO-BUTANO. EN ESTE DIAGRAMA LA COMPOSICIÓN ESTÁ EXPRESADA EN TÉRMINOS DEL BUTANO (MOL FRACCIÓN). LOS PUNTOS A, B, C, Y D SE CALCULAN CON LAS FÓRMULAS EXPRESADAS. EL PUNTO A A 22.75 PSIA. REPRESENTA LA PRESIÓN DE BURBUJA PARA UNA SOLUCIÓN CUYA MOL FRACCIÓN DE BUTANO ES 0.50. EL PUNTO B REPRESENTA LA COMPOSICIÓN DEL VAPOR EN EL PUNTO DE BURBUJA. EN FORMA SIMILAR, LOS PUNTOS C Y D REPRESENTAN LA PRESIÓN DE BURBUJA Y LA COMPOSICIÓN DEL VAPOR A ESA PRESIÓN PARA UNA SOLUCIÓN IDEAL CUYA MOL FRACCIÓN DE BUTANO ES 0.75. LOS PUNTOS E Y F REPRESENTAN LAS PRESIONES DE VAPOR DEL PROPANO Y BUTANO PUROS, RESPECTIVAMENTE, A 0° F. LA LÍNEA FACE ES LA LÍNEA DE PUNTOS DE BURBUJA Y LA LÍNEA FBDE LA DE LOS PUNTOS DE ROCÍO. ES OBVIO QUE UN DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN PARA UN SISTEMA IDEAL BINARIO PODRÍA SER CALCULADO DE ESTA MANERA Y SERVIRÍA PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO CUANTITATIVO DE LAS FASES.

SE CONSIDERA DE INTERÉS MENCIONAR QUE LA LÍNEA DE LOS PUNTOS DE BURBUJA

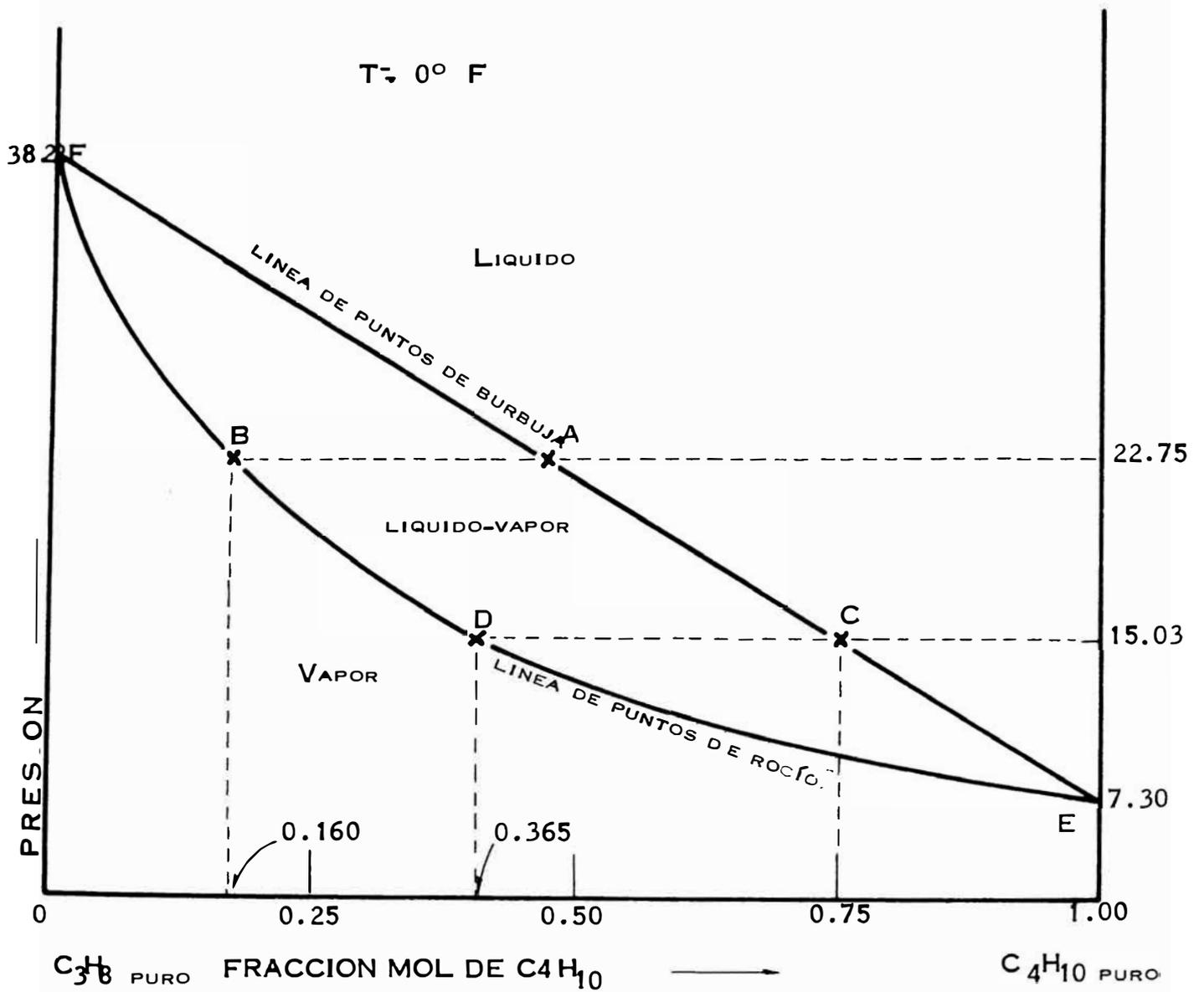


FIGURA 15.-DIAGRAMA PRESIÓN-COMPOSICIÓN PARA EL SISTEMA PROPANO-BUTANO A 0° F ; CALCULADO ASUMIENDO COMPORTAMIENTO DE SOLUCIÓN IDEAL.

PARA UN SISTEMA BINARIO IDEAL ES UNA FUNCIÓN LINEAL DE LA COMPOSICIÓN:

$$BPP = x_1 \cdot P_1^0 + x_2 \cdot P_2^0$$

PERO:

$$x_2 = 1 - x_1$$

ENTONCES:

$$BPP = x_1 (P_1^0 - P_2^0) + P_2^0$$

CÁLCULO DE LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO Y EL VAPOR DE UN SISTEMA DE DOS COMPONENTES EN LA REGIÓN DE DOS FASES.

A MEDIDA QUE LA PRESIÓN SE REDUCE POR DEBAJO DEL PUNTO DE BURBUJA, MÁS Y MÁS VAPOR SE FORMA Y EMPIEZA A ENRIQUECERSE EN EL COMPONENTE MENOS VOLÁTIL. EN CONSECUENCIA, PARA UN SISTEMA EN LA REGIÓN DE DOS FASES LAS COMPOSICIONES DEL LÍQUIDO Y VAPOR SON DIFERENTES Y NINGUNA ES IGUAL A LA COMPOSICIÓN DEL SISTEMA. A CONTINUACIÓN SE EXPONE UN MÉTODO PARA CALCULAR LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO Y VAPOR EN LA ZONA DE DOS FASES; QUEDA ENTENDIDO QUE SOLAMENTE SE APLICA A SISTEMAS DE DOS COMPONENTES.

SI x_1 Y x_2 REPRESENTAN LAS FRACCIONES MOL DE LOS DOS COMPONENTES EN EL LÍQUIDO A UNA PRESIÓN P_T , AL APLICAR LA LEY DE RAOULT SE OBTIENE LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

$$x_1 \cdot P_1^0 + x_2 \cdot P_2^0 = P_T \dots\dots\dots(2.4)$$

$$x_2 = 1 - x_1$$

REEMPLAZANDO EN LA ECUACIÓN (2.4) SE OBTIENE:

$$x_1 \cdot P_1^0 + (1 - x_1) \cdot P_2^0 = P_T \dots\dots\dots(2.5)$$

$$x_1 = \frac{P_T - P_2^0}{P_1^0 - P_2^0}$$

$$x_2 = \frac{P_T - P_1^0}{P_2^0 - P_1^0} \dots\dots\dots(2.6)$$

SI APLICAMOS LA LEY DE DALTON AL VAPOR OBTENEMOS:

$$y_1 = \frac{P_1}{P_T} = \frac{x_1 \cdot P_1^0}{P_T} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$y_2 = \frac{P_2}{P_T} = \frac{x_2 \cdot P_2^0}{P_T} = 1 - y_1 \dots \dots \dots (2.8)$$

NÓTESE QUE LA COMPOSICIÓN DEL SISTEMA NO APARECE EN LAS ECUACIONES (2.5)

A (2.8); LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO Y VAPOR EN LA REGIÓN DE DOS FASES ES DETERMINADA POR LA PRESIÓN Y TEMPERATURA ÚNICAMENTE. ESTE PUNTO YA HA SIDO EXPUESTO ANTERIORMENTE EN LOS DIAGRAMAS DE PRESIÓN-COMPOSICIÓN.

CÁLCULO DE SISTEMAS MULTICOMPONENTES ASUMIENDO COMPORTAMIENTO IDEAL.

EL CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE BURBUJA Y DE LA COMPOSICIÓN DEL VAPOR EN ESTE PUNTO NO INVOLUCRA NUEVOS CONOCIMIENTOS. SI APLICAMOS LA LEY DE RAOULT LA PRESIÓN PARCIAL EN EL VAPOR, DE CADA COMPONENTE PUEDE SER CALCULADA Y LA SUMA DE ELLAS SERÁ LA PRESIÓN DE BURBUJA:

$$BPP = \sum x_i \cdot P_i^0$$

DONDE x_i ES LA MOL FRACCIÓN DEL COMPONENTE i EN EL ESTADO LÍQUIDO Y P_i^0 ES LA PRESIÓN DE VAPOR DEL MISMO COMPONENTE PURO.

SIMILARMENTE, SI APLICAMOS LA LEY DE DALTON AL VAPOR, LA MOL FRACCIÓN DE CADA COMPONENTE EN EL VAPOR ESTÁ DADA POR:

$$y_i = \frac{P_i}{P_T} = \frac{x_i \cdot P_i^0}{BPP} \dots \dots \dots (2.9)$$

PARA UNA PRESIÓN EN LA CUAL EXISTA UNA EVAPORACIÓN PARCIAL Y EL LÍQUIDO Y EL VAPOR ESTÉN PRESENTES EN CANTIDADES FINITAS, EL CÁLCULO DE LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO PUEDE SER HECHO DE LA SIGUIENTE MANERA:

$N =$ NÚMERO TOTAL DE MOLES EN EL SISTEMA

$N_L =$ NÚMERO TOTAL DE MOLES EN EL LÍQUIDO

- $N_V =$ NÚMERO TOTAL DE MOLES EN EL VAPOR
- z_i MOL FRACCIÓN DEL COMPONENTE i EN EL SISTEMA
- x_i MOL FRACCIÓN DEL COMPONENTE i EN EL LÍQUIDO
- y_i MOL FRACCIÓN DEL COMPONENTE i EN EL VAPOR

SI EFECTUAMOS UN BALANCE DE MATERIALES PARA EL COMPONENTE i SE LLEGA A LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

$$z_i \cdot N = x_i \cdot N_L + y_i \cdot N_V \dots\dots\dots(2.10)$$

APLICANDO LA LEYES DE RAOULT Y DALTON PARA EL COMPONENTE SE OBTIENE:

$$y_i = \frac{P_i}{P_T} = \frac{x_i \cdot P_i^0}{P_T} \dots\dots\dots(2.11)$$

COMBINANDO LAS ECUACIONES (2.10) Y (2.11) SE OBTIENE:

$$z_i \cdot N = x_i \cdot N_L + \frac{P_i^0}{P_T} \cdot x_i \cdot N_V$$

$$x_i = \frac{z_i \cdot N}{N_L + \frac{P_i^0}{P_T} \cdot N_V}$$

$$\sum x_i = \sum \frac{z_i \cdot N}{N_L + N_V \frac{P_i^0}{P_T}} = 1 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\sum y_i = \sum \frac{z_i \cdot N}{N_V + N_L \frac{P_i^0}{P_T}} = 1 \dots\dots\dots(2.13)$$

ESTAS DOS ÚLTIMAS ECUACIONES SON EQUIVALENTES Y CUALQUIERA DE ELLAS PUEDE SER USADA PARA CALCULAR LA COMPOSICIÓN DE LAS DOS FASES DE UN SISTEMA MULTICOMPONENTE. ESTAS ECUACIONES SON RESUELTAS MÁS RÁPIDAMENTE CON EL MÉTODO DE TANTEOS (TRIAL AND ERROR). PARA SIMPLIFICAR LOS CÁLCULOS SE TOMA COMO BASE UNA MOL DEL SISTEMA O SEA $n = 1$ Y $n_L + n_V = 1$. SE TOMA LUEGO UN VALOR RAZONABLE DE n_V O n_L Y SE HACE LA SUMATORIA DE LAS ECUACIONES (2.12) O (2.13). SI EL VALOR DE LA SUMA ES 1 (UNO), ENTONCES LOS VALORES DE CADA TÉRMINO SON EN REALIDAD x_i O y_i DEPENDIENDO DE LA ECUACIÓN QUE HAYA SIDO USADA. SI LA SUMA ENCONTRADA NO ES 1 (UNO), SE TOMA UN NUEVO VALOR DE n_V O n_L Y SE REPITEN LOS CÁLCULOS, Y ASÍ SUCESIVAMENTE HASTA DAR CON UN VALOR QUE SE APROXIME AL VERDADERO; SE PUEDE USAR LA INTERPOLACIÓN O EXTRAPOLACIÓN PARA OBTENER UN VALOR APROXIMADO DESPUÉS DE HABER EFECTUADO 3 Ó 4 TANTEOS.

LOS CÁLCULOS DE ESTE TIPO SE APLICAN EN LA PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUÍDOS EN UN SEPARADOR DE GAS, A CONDICIÓN DE QUE SE ASUMA EL COMPORTAMIENTO DE UNA SOLUCIÓN. EL FLUÍDO INTRODUCIDO EN EL SEPARADOR ES CONOCIDO GENERALMENTE COMO "ALIMENTACIÓN" (FEED STOCK). LAS FASES VAPOR Y LÍQUIDO SE SEPARAN, LAS CANTIDADES RELATIVAS Y LAS COMPOSICIONES SE CALCULAN POR LA COMPOSICIÓN DE LA ALIMENTACIÓN, LA CANTIDAD Y LAS CONDICIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL SEPARADOR. SI LA SOLUCIÓN ES IDEAL, SE NECESITA CONOCER SOLAMENTE LA COMPOSICIÓN DEL SISTEMA Y LAS PRESIONES DE VAPOR DE LOS COMPONENTES PUROS A LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN, PARA PODER CALCULAR ASÍ EL COMPORTAMIENTO DE LAS FASES.

SOLUCIONES NO IDEALES

CONCEPTO DE CONSTANTES DE EQUILIBRIO.- SI UNA SOLUCIÓN NO ES IDEAL Y LAS LEYES
RAOULT Y DALTON NO SON APLICABLES, ES NECESARIO HACER CORRECCIONES EMPÍRICAS.

PARA UNA SOLUCIÓN IDEAL, LA RELACIÓN ENTRE LA FRACCIÓN MOL DE UN COMPONENTE DADO
EN EL LÍQUIDO Y EN EL VAPOR, ESTÁ DADA POR LA ECUACIÓN:

$$y_1 = \frac{p_1^0}{P} \cdot x_1$$

EN UNA SOLUCIÓN NO IDEAL, LA RELACIÓN VIENE A SER:

$$y_1 = K_1 \cdot x_1$$

DONDE K_1 ES UNA CONSTANTE EXPERIMENTALMENTE DETERMINADA Y CONOCIDA COMO

"CONSTANTE DE EQUILIBRIO". EN EL CASO DE UNA SOLUCIÓN IDEAL EL VALOR DE K_1 ES FUN-

CIÓN DE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN Y ES IGUAL AL COCIENTE ENTRE LA PRESIÓN DE VAÑOR Y

LA PRESIÓN TOTAL. EL VALOR DE K_1 EN UNA SOLUCIÓN IDEAL ES TAMBIÉN FUNCIÓN DE LA PRE-

SIÓN Y TEMPERATURA. EL VALOR DE LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO AUMENTA CON LA TEMPERATURA

Y DISMINUYE CUANDO AUMENTA LA PRESIÓN. EN LA FIG. 16 SE MUESTRA UN PLOTEO TÍPICO

DE LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA. LA CURVA (1) REPRESENTA

EL VALOR DE K_1 , COMO FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA A LA PRESIÓN P_1 Y LA CURVA (2) A LA

PRESIÓN P_2 . LA PRESIÓN P_2 ES MAYOR QUE P_1 .

CÁLCULOS MEDIANTE CONSTANTES DE EQUILIBRIO.- LOS CÁLCULOS CON EL USO DE CONS-

TANTES DE EQUILIBRIO SON BASTANTE SIMILARES A LOS DE LAS SOLUCIONES IDEALES,

A DIFERENCIA QUE EN LUGAR DE USAR LAS PRESIONES DE VAPOR, SE USAN LAS

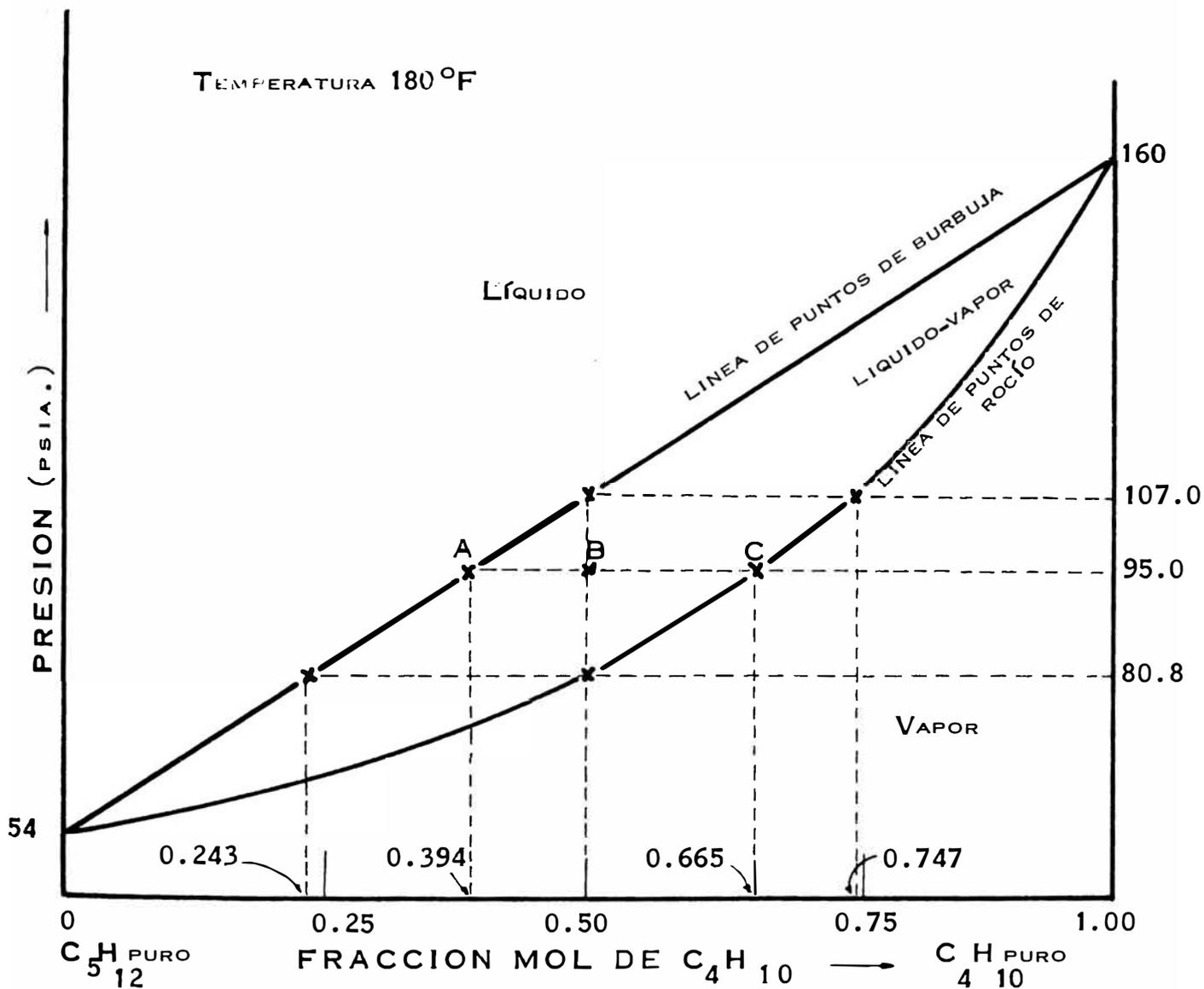


FIGURA 16.-DIAGRAMA CALCULADO PRESIÓN-TEMPERATURA PARA EL SISTEMA N-PENTANO-N-BUTANO.

CONSTANTES DE EQUILIBRIO DIRECTAMENTE. LAS ECUACIONES (2.5) A (2.8) SE TRANSFORMAN ENTONCES EN:

$$x_1 = \frac{1 - K_2}{K_1 - K_2} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$x_2 = 1 - x_1 = \frac{1 - K_1}{K_2 - K_1} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$y_1 = K_1 \cdot x_1 \dots\dots\dots(2.16)$$

$$y_2 = 1 - y_1 - K_2 \cdot x_2 \dots\dots\dots(2.17)$$

ESTAS ECUACIONES SE USAN PARA SISTEMAS BINARIOS; EN CASO DE SER MULTICOMPONENTES, Y USANDO LAS CONSTANTES DE EQUILIBRIO, LAS ECUACIONES (2.12) Y (2.13) SE CONVIERTEN EN:

$$\sum x_i = \sum \frac{z_i \cdot N}{N_L + N_V K_i} = 1 \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\sum y_i = \sum \frac{z_i \cdot N}{N_V + N_L K_i} = 1 \dots\dots\dots(2.19)$$

CON ESTAS ECUACIONES SE PUEDE CALCULAR LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO Y DEL VAPOR EN UN SISTEMA MULTICOMPONENTE DE HIDROCARBUROS USANDO EL MÉTODO DE TANTEOS (TRIAL AND ERROR).

LA ECUACIÓN (2.18) SE PUEDE ESCRIBIR DE LA SIGUIENTE MANERA:

$$x_i = \frac{z_i \cdot N}{1 + N_V (K_i - 1)}$$

PUESTO QUE $N = N_L + N_V = 1$

CAPITULO TRES

EXPOSICION DEL PROBLEMA

CAPITULO III

EXPOSICION

EL PROBLEMA DIRECTO ES LA PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUÍDOS EN UNA ESTACIÓN DE SERPARADORES; Y PARA LOGRAR UNA EXPOSICIÓN MÁS CLARA Y HACER POSIBLE UNA DISCUSIÓN SOBRE LAS DIFERENTES VARIANTES QUE SE PRESENTEN SE HA CREÍDO CONVENIENTE EXPONER UN PROBLEMA NUMÉRICO EN EL QUE SE MOSTRARÁ UNO DE LOS CASOS DE VARIACIÓN QUE EXISTE PERO LLEVANDO SIEMPRE LA DISCUSIÓN A UN PLANO GENERAL .

SE TIENE UN POZO "X" QUE PRODUCE UN FLUÍDO CON LA SIGUIENTE COMPOSICIÓN EXPRESADA EN FRACCIÓN MOLAR:

<u>COMPONENTE</u>	<u>FRACCION</u>
METANO	0.8610
ETANO	0.0670
PROPANO	0.0261
ISO- BUTANO	0.0050
N- BUTANO	0.0085
ISO- PENTANO	0.0026
N- PENTANO	0.0029
HEXANO	0.0039
HEPTANOS	0.0230

LA PRODUCCIÓN DE ESTE POZO VA A UNA ESTACIÓN DE SEPARADORES CUYAS CONDI
CIONES DE OPERACIÓN SON LAS SIGUIENTES:

SEPARADOR DE ALTA PRESION	‡ 100 PSIA.	80° F
SEPARADOR DE BAJA PRESION	50 PSIA.	80° F
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	14.7PSIA.	80° F

EN LA FIG. 17 SE MUESTRA EL DIAGRAMA DE FLUJO EN LA ESTACIÓN DE SEPARADORES. A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL POZO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN SE DEBE CALCULAR LA COMPOSICIÓN DEL LÍQUIDO Y DEL GAS EN CADA ETAPA DE SEPARACIÓN Y EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO. SE DEBE CALCULAR ADEMÁS LA CANTIDAD DE GAS Y LÍQUIDO QUE SE OBTIENE EN CADA ETAPA Y EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO, PARA PODER CONOCER LA RELACIÓN GAS-PETRÓLEO (G.O.R.) DE PRODUCCIÓN; ES TAMBIÉN NECESARIO ESTIMAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS FLUÍDOS DE PRODUCCIÓN Y EL °API. A PARTIR DE ESTOS RESULTADOS SE PODRÍA OBTENER LA PRODUCCIÓN DEL POZO Y LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN.

SI VARIAMOS LAS CONDICIONES DE PRESIÓN DE LOS SEPARADORES, SE OBTENDRAN RESULTADOS DIFERENTES Y ASÍ SE PODRÍA REALIZAR UNA SERIE DE VARIACIONES DE PRESIONES DE AMBOS SEPARADORES Y OBTENER LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN. POR EJEMPLO, EL PROBLEMA DADO, SE PODRÍAN CONSIDERAR CASOS COMO:

SEPARADOR DE ALTA PRESION SEPARADOR DE BAJA PRESION

100	50
140	50
120	50
130	50
100	60
110	60
120	60
130	60

Y DETERMINAR LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN.

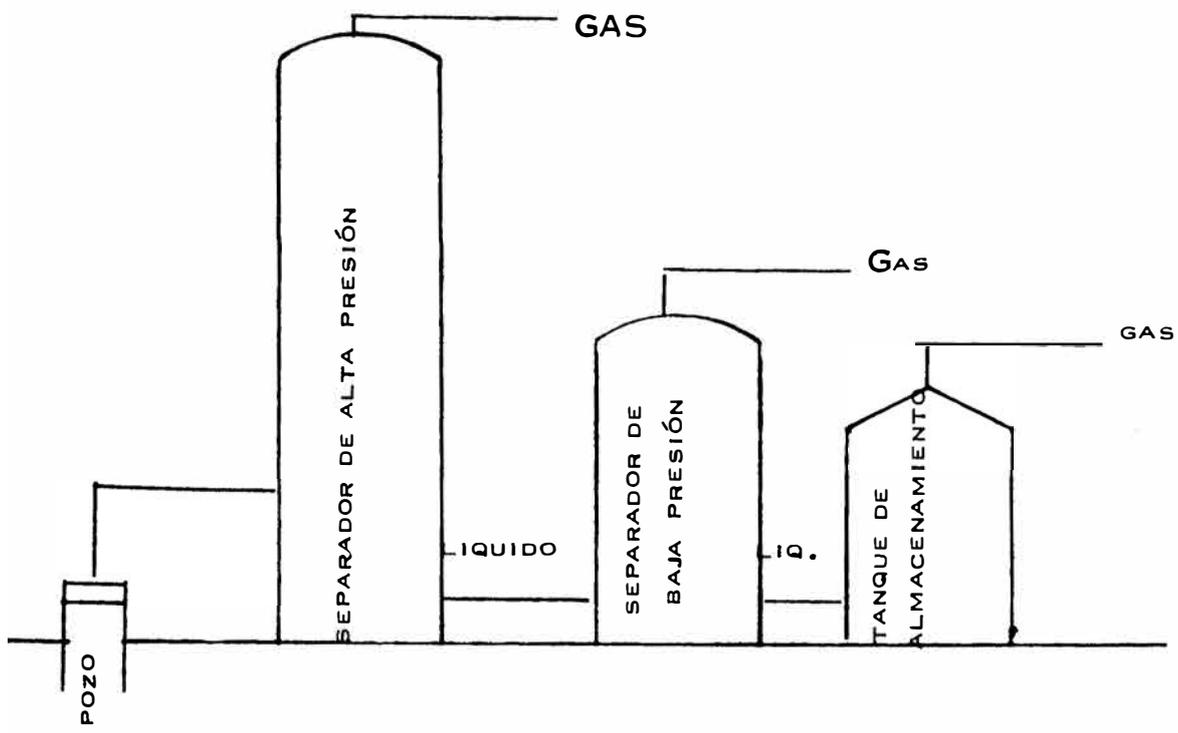


FIGURA 17.- DIAGRAMA DE UNA ESTACIÓN DE SEPARADORES.

CALCULO DEL EQUILIBRIO EN LA PRIMERA ETAPA 100 PSIA 60 °E

<u>COMPONENTE</u>	Z	K	1o TANTEO	2o TANTEO	3o TANTEO	4o TANTEO	5o TANTEO	$N_L = 0.0265$	
			$N_V = 0.5$	$N_V = 0.8$	$N_V = 0.9$	$N_V = 0.95$	$N_V = 0.98$	$N_V = 0.9735 *$	X
C ₁	0.8610	27.0000	0.06150	0.03950	0.03532	0.03350	0.03250	0.03280	0.88500
C ₂	0.0670	4.8000	0.02310	0.01660	0.01515	0.01453	0.01418	0.01427	0.06850
C ₃	0.0261	1.3900	0.01582	0.01988	0.01930	0.01905	0.01886	0.01894	0.02632
C ₄	0.0050	0.5500	0.00645	0.00781	0.00840	0.00949	0.00895	0.00890	0.00489
C ₄	0.0085	0.4100	0.01210	0.01612	0.01813	0.01934	0.02010	0.01996	0.00817
C ₅	0.0026	0.1700	0.00445	0.00774	0.01030	0.01230	0.01393	0.01350	0.00228
C ₅	0.0029	0.1310	0.00513	0.00951	0.01331	0.01663	0.01953	0.01890	0.00246
C ₆	0.0039	0.0410	0.00749	0.01673	0.02850	0.02650	0.06485	0.05835	0.00238
C ₇₊	0.0230	0.0018	0.04600	0.11370	0.22650	0.45000	1.05350	0.81438	0.00145
TOTAL	_____		0.18204	0.24759	0.37491	0.60134	1.24640	1.00000	1.00146

* OBTENIDO POR INTERPOLACIÓN

CALCULO DEL EQUILIBRIO DE LA SEGUNDA ETAPA 50 PSIA 60°E

COMPONENTE	Z	K	1OTANTEO	2OTANTEO	3OTANTEO	4OTANTEO	5OTANTEO	N _L = 0.9766	N _V = 0.0234
			N _V = 0.1	N _V = 0.2	N _V = 0.01	N _V = 0.02	N _V = 0.03		
			X	X	X	X	X	X	Y
C ₁	0.03280	52.00000	0.005380	0.002928	0.021730	0.016250	0.012960	0.014980	0.780000
C ₂	0.01427	9.40000	0.007750	0.005320	0.013150	0.012220	0.011390	0.011930	0.112250
C ₃	0.01894	2.62000	0.016290	0.014290	0.018670	0.018340	0.018080	0.018300	0.047990
i - C ₄	0.00890	1.00000	0.008900	0.008900	0.008900	0.008900	0.008900	0.008900	0.008900
n - C ₄	0.01996	0.75000	0.020480	0.399200	0.020000	0.020050	0.020100	0.020040	0.015060
i - C ₅	0.01350	0.30500	0.014500	0.015670	0.013600	0.013680	0.013820	0.013740	0.004190
n - C ₅	0.01890	0.24100	0.020480	0.022310	0.019050	0.019180	0.019180	0.019270	0.004640
C ₆	0.05835	0.07000	0.064300	0.071750	0.058850	0.059400	0.059400	0.059600	0.004170
C ₇ †	0.81438	0.00304	0.904500	1.017000	0.822000	0.830000	0.830000	0.833240	0.002530
TOTAL			1.062580	1.557368	0.995950	0.998020	1.003580	1.000000	0.979830

* OBTENIDO POR INTERPOLACIÓN

CALCULO DEL EQUILIBRIO DE LA TERCERA ETAPA 14.7 PSIA 60 F

$N_L = 0.997$ $N_V = 0.023$

<u>COMPONENTE.</u>	Z	K	X	Y
C ₁	0.014980	175.0000	0.002990	0.524000
C ₂	0.011930	34.0000	0.006790	0.230800
C ₃	0.018300	8.7000	0.015580	0.135500
I - C ₄	0.008900	3.3200	0.008450	0.028010
N - C ₄	0.020040	2.3800	0.019460	0.046350
I - C ₅	0.013740	0.8900	0.013790	0.012270
N - C ₅	0.019270	0.7100	0.019400	0.013770
C ₆	0.059600	0.2100	0.060640	0.012720
C ₇ †	0.833240	0.0089	0.852900	1.011000
TOTAL	_____		1.000000	1.011000

NOTA.

NO SE HA INCLUIDO LOS CALCULOS DE LOS TANTEOS EN ESTA ETAPA POR NO SER NECESARIOS PARA LA DISCUSION DEL PROBLEMA.

DISTRIBUCION DEL NUMERO DE MOLES EN CADA ETAPA

ALIMENTACION

1 MOL

0.0265 (LIQ.) 0.9735 (VAP.)

(LIQ.) $0.0265 \times 0.9766 = 0.02588$ $0.0265 \times 0.0234 = 0.00062$ (VAP.)

$0.02588 \times 0.977 = 0.02528$ $0.02588 \times 0.023 = 0.000595$

NÚMERO TOTAL DE MOLES EN EL VAPOR =

0.973500	+
0.000620	
<u>0.000595</u>	
0.974715	+

NÚMERO TOTAL DE MOLES EN EL LÍQUIDO 0.025280

TOTAL ----- 0.999995

CAPITULO CUATRO

APLICACION DE LA COMPUTADORA ELECTRONICA

CAPITULO IV

APLICACION DE LA COMPUTADORA ELECTRONICA

PARA RESOLVER EL PROBLEMA EN LA COMPUTADORA ELECTRÓNICA SE HA ESCRITO UN PROGRAMA FUENTE EN LENGUAJE FORTRAN II VERSION II ORIENTADO HACIA LA IBM 1620 MODELO 1 CON MONITOR, PERO PUEDE SER USADO, SIN CAMBIO ALGUNO EN EL MODELO 1 SIN MONITOR O EN EL MODELO 2. SI SE DISPONE DE UNA COMPUTADORA DEL TIPO IBM 1401 O IBM /360, SE PUEDEN HACER PEQUEÑOS CAMBIOS Y QUEDAR ESCRITO EN FORTRAN IV Y PUEDE SER UTILIZADO EN ELLAS CON MAYORES VENTAJAS.

EL PROGRAMA FUENTE (FIG. 18) HA SIDO ESCRITO PARA PODER ACEPTAR UN AMPLIO NÚMERO DE ETAPAS DE SEPARACIÓN (HASTA 999) Y PODER SOPORTAR UN PETRÓLEO HASTA DE 99 COMPONENTES. LOS DATOS QUE SE NECESITAN PARA HACER POSIBLE LA SOLUCIÓN DE ESTE PROBLEMA PUEDEN SER DADOS A LA COMPUTADORA CON BASTANTE EXACTITUD (HASTA 10 CIFRAS EXACTAS) Y LOS RESULTADOS QUE SE OBTIENEN SON TAMBIEN DE GRAN APROXIMACIÓN DECIMAL.

DATOS DE ENTRADA (INPUT).- (APÉNDICE I)

TARJETA GUÍA:- EN ESTA TARJETA SE DARÁ A CONOCER AL SISTEMA EL NÚMERO DE ETAPAS DE SEPARACIÓN A LAS QUE VÁ A SER SOMETIDO. UNA SOLA TARJETA.

FORMATO 2 I 3

TARJETAS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA:- EN ESTAS TARJETAS (UNA POR CADA ETAPA DE SEPARACIÓN) SE DARÁ A CONOCER AL SISTEMA LA PRESIÓN (PSIA) Y TEMPERATURA (°F).

FORMATO 2 E 16.10

STATEMENT NUMBER

FORTRAN STATEMENT

5 6 7 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

C PREDICCION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PETROLEO EN UN

C PROCESO DE SEPARACION

C OCTAVIO DE-LELLIS GALLO

DIMENSION Z(99), X(99), Y(99), PM(99), GL(99), CK(99), VL(99),

1 PL(99), PG(99), PRESS(99), TEMP(99)

READ 1, M, N

DO 900 J=1, N

900 READ 2, PRESS(J), TEMP(J)

PRINT 3

PRINT 89

PRINT 4

PRINT 89

PRINT 5

PRINT 89

PRINT 6

PRINT 89

101 PRINT 7

PRINT 89

PRINT 9

PRINT 89

103 PRINT 10, N, M

* A standard card form, IBM electric 888157, is available for punching source statements. Form.

STATEMENT NUMBER	FORTRAN STATEMENT
	PRINT 89
104	PRINT 11
	PRINT 89
	PRINT 12
	PRINT 89
106	DO 107 I=1, M
	READ 13, Z(I), CK(I), PM(I), GL(I)
107	PRINT 14, Z(I), CK(I), PM(I), GL(I)
	RLA=1.
	RLB=
	PAUSE
	GORA=0.
C	RLA ES EL VALOR DEL NO. DE MOLES EN EL LIQUIDO Y RLB ES EL NO. DE
C	MOLES EN EL VAPOR, GORA ES EL G.O.R. DEL PROCESO (ACUMULATIVO)
	X=0.
	DO 480 J=1, N
100	R=0.1
99	S=0.
C	PUNTO DE INICIO DE LA ROTINA DE TANTEOS.
	DO 497 I=1, M
	X(I) = Z(I) / (1. + R * (CK(I) - 1.))

* A standard card form, IBM electro 555157, is available for punching source statements from this form.

STATEMENT
NUMBER

FORTRAN STATEMENT

1 5 6 7 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

497 S = S + X(I)

IF (S - 1.) 998, 200, 105

998 R = R + 0.1

GO TO 99

105 R = R - 0.09

995 S = 0.

DO 491 I = 1, N

X(I) = Z(I) / (1. + R * (CK(I) - 1.))

491 S = S + X(I)

IF (S - 1.) 113, 200, 114

113 R = R + 0.01

GO TO 995

114 R = R - 0.009

994 S = 0.

DO 490 I = 1, N

X(I) = Z(I) / (1. + R * (CK(I) - 1.))

490 S = S + X(I)

IF (S - 1.) 115, 200, 201

115 R = R + 0.001

GO TO 994

0 A - S

R = R - 0.001

S = 0.

DO 489 I = 1, M

X(I) = Z(I) / (1 + R * (CK(I) - 1.))

489 S = S + X(I)

D = (S - 1.) * 0.001 / (S - A1)

R = R + D

~~200~~ S = 0.

K = K + 1

PRINT 22

PAUSE

C ALTO PROGRAMADO "PS" PARA CAMBIAR DE FORMULARIO

108 PRINT 15, K

PRINT 89

PRINT 16

PRINT 17

PRINT 18

PRINT 89

S = 0.

SVL = 0.

= 0.

FORTRAN STATEMENT

7 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70

SPG=0

RL=1-R

RLB=RLA*R

RLA=RLA*R

DO 997 I=1,M

X(I)=Z(I)/(1+R*(CK(I)-1.))

Y(I)=CK(I)*X(I)

S=S+X(I)

YL(I)=RLA*X(I)*GL(I)

SVL=SVL+VL(I)

PL(I)=RLA*X(I)*PM(I)

SPL=SPL+PL(I)

PG(I)=RLB*Y(I)*PH(I)

SPG=SPG+PG(I)

997 PRINT 23,Z(I),X(I),Y(I),S,VL(I),PL(I),PG(I)

GORA=GORA+RLB

GAS=GORA*379.4

SCF=379.4*RLB

GOR=SCF/(SVL/A2)

GFG=SPG/28.85

GEL=SPL/(SVL*8.237)

5 6 7 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70

API=141.5/GEL-131.5

GORAC=GAS/(SVL/42)

PRINT 89

111 PRINT 20,RLA

PRINT 21,RLB

PRINT 89

PRINT 24

PRINT 25,GEG,GEL,API

PRINT 89

PRINT 26

PRINT 27,SCF,GAS,GOR,GORAC

PRINT 89

PRINT 28,PRESS(J)

PRINT 29,TEMP(J)

IF(K-N)478,480,480

478 DO 479 I=1,M

Z(I)=X(I)

479 READ 19,OK(I)

480 CONTINUE

FORTRAN STATEMENT

6	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	7
1	FORMAT (2I3)													
2	FORMAT (2E14.8)													
3	FORMAT (20X, 49H UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - LIMA - PERU)													
4	FORMAT (34X, 20H FACULTAD DE PETRO. EO)													
5	FORMAT (36X, 20H DE DE 19.67)													
6	FORMAT (28X, 31H OCTAVIO EDUARDO DE LELLIS GALLO)													
7	FORMAT (86H PREDICCION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PETRO-													
1	EO EN UN PROCESO DE SEPARACION)													
9	FORMAT (20X, 16H NUMERO DE ETAPAS, 20X, 21H NUMERO DE COMPONENTES)													
10	FORMAT (26X, I3, 36X, I3)													
11	FORMAT (20X, 42H COMPOSICION DE LA ALIMENTACION DEL PROCESO)													
12	FORMAT (19X, 44H FRAC. MOL. CONSTANTE K PESO MOL. GAL. LIQ.)													
13	FORMAT (F8.6, E14.8, F8.3, F8.3)													
14	FORMAT (19X, F8.6, 2X, E14.8, 2X, F8.3, 2X, F8.3)													
15	FORMAT (36X, 12H ETAPA NUMERO, 2X, I3)													
16	FORMAT (4X, 1HZ, 8X, 1HX, 8X, 1HY, 10X, 1HS, 13X, 2HYL, 14X 2HPL, 12X, 2HPRG)													
17	FORMAT (83H. SISTEMA LIQUIDO VAPOR VOLUMEN LIQUIDO)													
1	PESO LIQUIDO PESO GAS)													
18	FORMAT (83H FRAC. MOL FRAC. MOL FRAC. MOL SUMA DE X GAL/MOL													
1	LBS./MOL LBS. MOL)													

5	6	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	7
19	FORMAT (E16.10)															
20	FORMAT (6X, 30HNUMERO DE MOLES EN EL LIQUIDO, E14.8)															
21	FORMAT (6X, 30HNUMERO DE MOLES EN EL VAPOUR, E14.8)															
22	FORMAT (2HPS)															
23	FORMAT (F8.6, 1X, F8.6, 1X, F8.6, 1X, E14.8, 1X, E14.8, 1X, E14.8, 1X, E14.8, 1X 1)															
24	FORMAT (83H GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LIQUIDO GRADO A.P.I.)															
25	FORMAT (7X, E14.8, 21X, E14.8, 14X, E14.8)															
26	FORMAT (82HCANTIDAD DE GAS SCF/MOL GAS TOTAL SCF GOR SCF/ 1 BBL GOR ACUMULATIVO)															
27	FORMAT (5X, E14.8, 12X, E14.8, 2X, E14.8, 5X, E14.8)															
28	FORMAT (37H ESTA ETAPA SE CALCULO A LA PRESION DE, 2X, E14.8, 5H PSIA)															
29	FORMAT (21H A LA TEMPERATURA DE, 2X, E14.8, 18H GRADOS FAHRENHEIT)															
89	FORMAT (1H //)															
999	STOP															
	END															

TARJETAS DE COMPONENTES

TENEMOS DOS TIPOS DE TARJETAS DE COMPONENTES, (A) LAS DE LA PRIMERA ETAPA DE SEPARACIÓN Y (B) LAS DE LAS SIGUIENTES ETAPAS.

(A) PRIMERA ETAPA:

EN ESTAS TARJETAS (UNA POR CADA COMPONENTE) SE DARÁ A CONOCER AL SISTEMA LOS DATOS DE FRACCIÓN MOLAR/MOL DE ALIMENTACIÓN, CONSTANTE DE EQUILIBRIO, PESO MOLECULAR, Y EQUIVALENTE EN GALONES LÍQUIDOS/MOL-LB

$$\frac{\text{PESO MOLECULAR}}{\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA} \times 8.337}$$

FORMATO F8.6, E16.10, F8.3, F8.3

(B) ETAPAS SIGUIENTES:

EN ESTAS TARJETAS (UNA POR CADA COMPONENTE) SOLO NECESITAMOS EL VALOR DE LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO O LAS CONDICIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE CADA ETAPA.

FORMATO E16.10

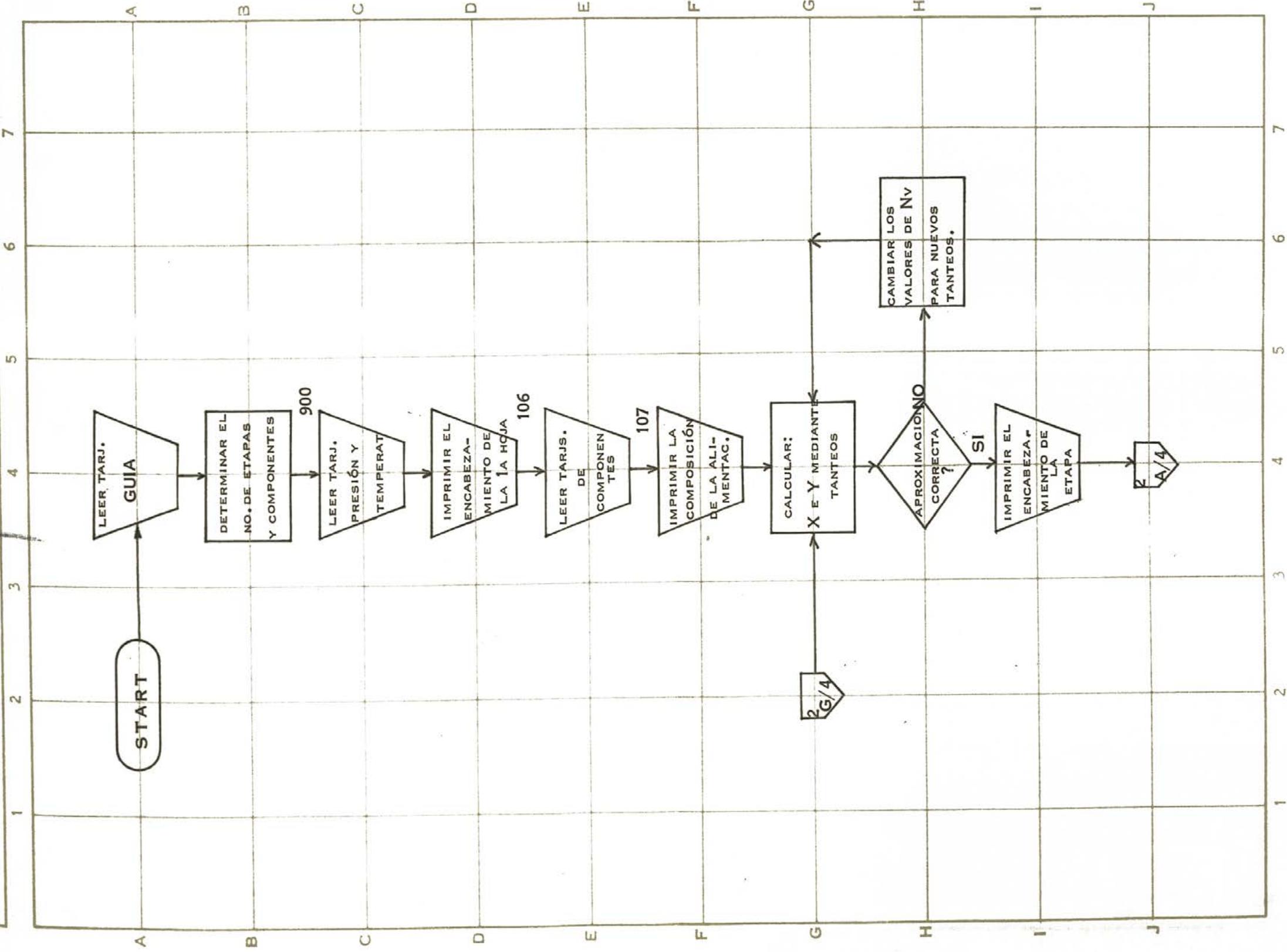
EL PROCESO QUE SIGUE EL PROGRAMA ESTÁ DESCRITO EN LA FIGURA 19, LA QUE REPRESENTA UN DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MISMO.

EL RESULTADO DEL PROCESO SERÁ IMPRESO DE UNA MANERA SENCILLA Y DE FÁCIL INTERPRETACIÓN TAL COMO SE MUESTRA EN EL APÉNDICE III; DURANTE LA EJECUCIÓN DEL

PROGRAMA HAY DOS ALTOS PROGRAMADOS, UNO AL TERMINAR LA IMPRESIÓN DE LA PRIME

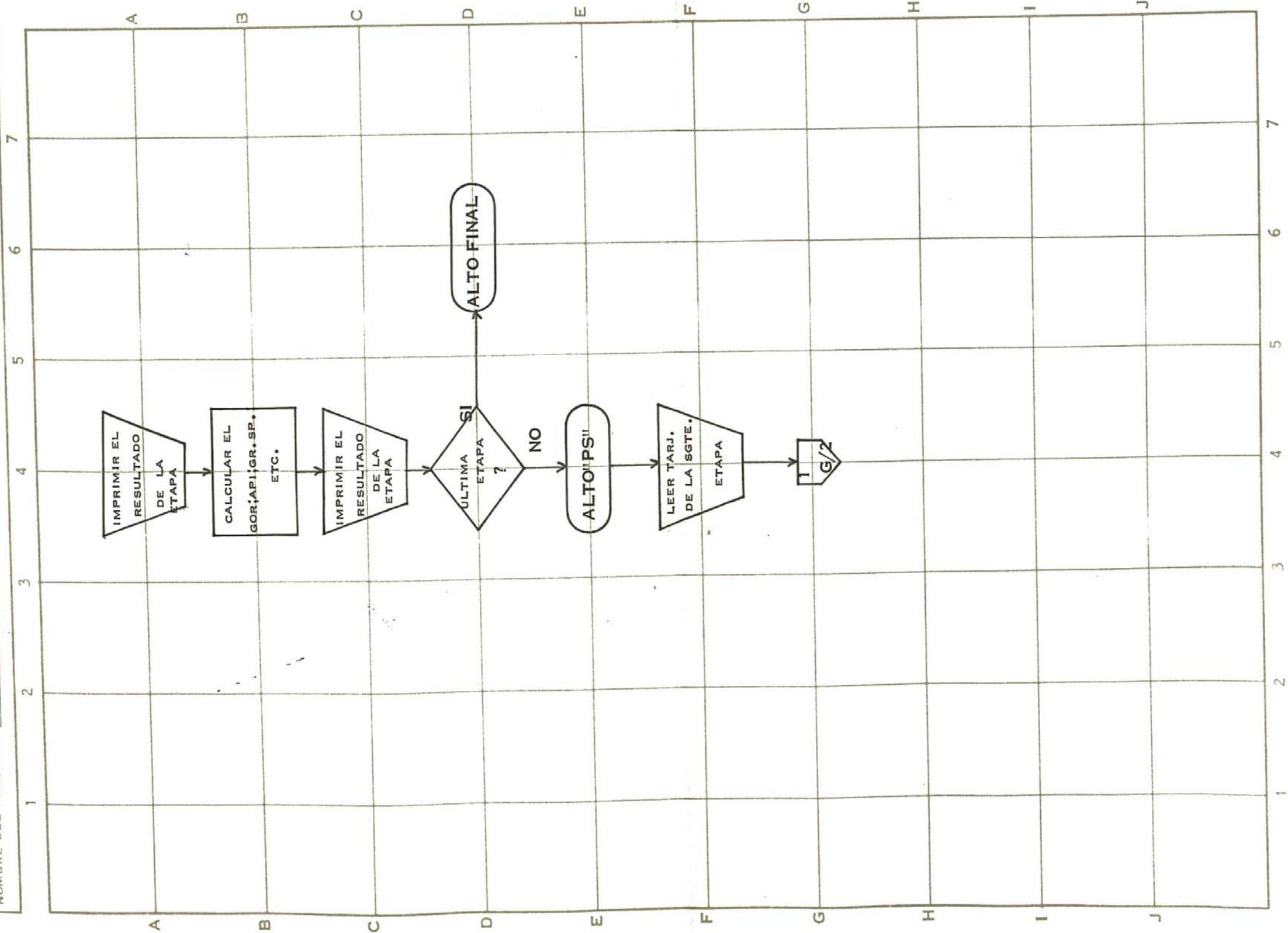
PROGRAMA HAY DOS ALTOS PROGRAMADOS, UNO AL TERMINAR LA IMPRESIÓN DE LA PRIME

RA HOJA Y OTRO AL TERMINAR LA IMPRESIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA ETAPA
(ESTE ÚLTIMO SE IDENTIFICA POR LA LETRA **PS** EN EL FORMULARIO). **P**ARA RES-
TAURAR EL SISTEMA, BASTA PRESIONAR LA TECLA **START** EN LA **C**ONSOLA.



PROGRAMADOR **OCTAVIO E. DE-LELLIS GALLO**
NOMBRE DEL PROGRAMA **FIGURA 19**

PROGRAMA NÚMERO: _____
FECHA _____
PAG. **2** DE **2**



CAPITULO CINCO

SOLUCION E INTERPRETACION DE LA SOLUCION

0011 27764
0012 27882
0013 28004
0014 28062
0015 28152
0016 28226
0017 28376
0018 28568
0019 28760
020 28788
021 28892
022 28996
023 29026
024 29170
0025 29362
026 29434
027 29624
028 29714
029 29850
089 29980
999 30012

30076 CORES USED
59999 NEXT COMMON
END OF COMPILATION
EXECUTION

20007 SVL
20025 SPL
20043 SPG
20061 RL
20079 GAS
20097 SCF
20115 GOR
20133 GEG
20151 GEL
20169 API
20187 GORAC

900 20248
101 20596
103 20692
104 20764
106 20860
107 21088
100 21460
0099 21484
0497 21800
0998 21972
0105 22016
995 22052
491 22316
0113 22488
0114 22532
0994 22568
0490 22832
0115 23004
0201 23048
0489 23372
0200 23612
0108 23708
0997 25400
0111 26120
0478 26656
0479 26788
0480 26896
0001 26938
0002 26976
0003 27016
0004 27148
0005 27222
0006 27296
0007 27392
0009 27590

```

22 FORMAT(2HPS)
23 FORMAT(F8.6,1X,F8.6,1X,F8.6,1X,E14.8,1X,E14.8,1XE14.8,1X,E14.8,1X
1)
24 FORMAT(83H GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS          GRAVEDAD ESPECIFICA DEL
1 LIQUIDO          GRADO A.P.I.)
25 FORMAT(7X,E14.8,21X,E14.8,14X,E14.8)
26 FORMAT(82HCANTIDAD DE GAS -SCF/MOL.          GAS TOTAL SCF          GOR          SCF/
1BBL          GOR ACUMULATIVO )
27 FORMAT(5X,E14.8,12X,E14.8,2X,E14.8,5X,E14.8)
28 FORMAT(37HESTA ÉTAPA SE CALCULO A LA PRESION DE,2X,E14.8,5H PSIA)
29 FORMAT(21HY A LA TEMPERATURA DE,2X,E14.8,18H GRADOS FAHRENHEIT)
89 FORMAT(1H //)

```

999 STOP

END

```

0003 0001
0021 1000000000000000000001
0039 0000000000000000000099
0043 0000
0061 1000000000000000000000
0079 9000000000000000000001
0097 1000000000000000000001
0115 9000000000000000000002
0133 1000000000000000000002
0151 3794000000000000000003
0169 4200000000000000000002
0187 2885000000000000000002
0205 8337000000000000000001
0223 1415000000000000000003
0241 1315000000000000000003

```

```

00259      Z 02023
02041      X 03805
03823      Y 05587
05605      PM 07369
07387      GL 09151
09169      CK 10933
10951      VL 12715
12733      PL 14497
14515      PG 16279
6297      PRESS 18061
18079      TEMP 19843
19847      M
19851      N
19855      J
19859      I
19877      RLA
19895      RLB
9913      GORA
19917      K
19935      R
19953      S
19971      A
19989      D

```

```

997 PRINT 23,Z(1),X(1),Y(1),S,VL(1),PL(1),PG(1)
    GORA=GORA+RLB
    GAS=GORA*379.4
    SCF=379.4*RLB
    GOR=SCF/(SVL/42.)
    GEG=SPG/28.85
    GEL=SPL/(SVL*8.337)
    API=141.5/GEL-131.5
    GORAC=GAS/(SVL/42.)
    PRINT 89
111 PRINT 20,RLA
    PRINT 21,RLB
    PRINT 89
    PRINT 24
    PRINT 25,GEG,GEL,API
    PRINT 89
    PRINT 26
    PRINT 27,SCF,GAS,GOR,GORAC
    PRINT 89
    PRINT 28,PRESS(J)
    PRINT 29,TEMP(J)
    IF(K-N)478,480,480
478 DO 479 I=1,M
    Z(I)=X(I)
479 READ 19,CK(I)
480 CONTINUE
    1 FORMAT(2I3)
    2 FORMAT(2E14.8)
    3 FORMAT(20X,49HUNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - LIMA - PERU )
    4 FORMAT(34X,20HFACULTAD DE PETROLEO)
    5 FORMAT(36X,20H30DE MARZO DE 1967)
    6 FORMAT(28X,31HOCTAVIO EDUARDO DE-LELLIS GALLO)
    7 FORMAT(86H PREDICCION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PETROL
    1EO EN UN PROCESO DE SEPARACION)
    9 FORMAT(20X,16HNUMERO DE ETAPAS,20X,21HNUMERO DE COMPONENTES)
    10 FORMAT(26X,13,36X,13)
    11 FORMAT(20X,42HCOMPOSICION DE LA ALIMENTACION DEL PROCESO)
    12 FORMAT(19X,44HFRAC.MOL CONSTANTE K PESO MOL GAL.LIQ)
    13 FORMAT(F8.6,E14.8,F8.3,F8.3)
    14 FORMAT(19X,F8.6,2X,E14.8,2X,F8.3,2X,F8.3)
    15 FORMAT(36X,12HETAPA NUMERO,2X,13)
    16 FORMAT(4X,1HZ,8X,1HX,8X,1HY,10X,1HS,13X,2HVL,14X,2HPL,12X,2HPG)
    17 FORMAT(83HSISTEMA LIQUIDO VAPOR VOLUMEN LIQUIDO
    1 PESO LIQUIDO PESO GAS)
    18 FORMAT(83HFRAC.MOL FRAC.MOL FRAC.MOL SUMA DE X GAL/MOL
    1 LBS./MOL LBS. MOL)
    19 FORMAT(E16.10)
    20 FORMAT(6X,30HNUMERO DE MOLES EN EL LIQUIDO ,E14.8)
    21 FORMAT(6X,30HNUMERO DE MOLES EN EL VAPOR ,E14.8)

```

```

DO 491 I=1,M
X(I)=Z(I)/(1.+R*(CK(I)-1.))
491 S=S+X(I)
IF(S-1.)113,200,114
113 R=R+0.01
GO TO .995
114 R=R-0.009
994 S=0.
DO 490 I=1,M
X(I)=Z(I)/(1.+R*(CK(I)-1.))
490 S=S+X(I)
IF(S-1.)115,200,201
115 R=R+0.001
GO TO .994
201 A=S
R=R-0.001
S=0.
DO 489 I=1,M
X(I)=Z(I)/(1.+R*(CK(I)-1.))
489 S=S+X(I)
D=(S-1.)*0.001/(S-A)
R=R+D
200 S=0.
K=K+1
PRINT 22
PAUSE
108 PRINT 15,K
PRINT 89
PRINT 16
PRINT 17
PRINT 18
PRINT 89
S=0.
SVL=0.
SPL=0.
SPG=0.
RL=1.-R
RLB=RLA*R
RLA=RLA*RL
DO 997 I=1,M
X(I)=Z(I)/(1.+R*(CK(I)-1.))
Y(I)=CK(I)*X(I)
S=S+X(I)
VL(I)=RLA*X(I)*GL(I)
SVL=SVL+VL(I)
PL(I)=RLA*X(I)*PM(I)
SPL=SPL+PL(I)
PG(I)=RLB*Y(I)*PM(I)
SPG=SPG+PG(I)

```

200000200009S

##JOB 5

##FORX53

*FANDK1604

PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PETRÓLEO EN UN
PROCESO DE SEPARACIÓN

OCTAVIO DE-LELLIS GALLO

DIMENSION Z(99),X(99),Y(99),PM(99),GL(99),CK(99),VL(99),
1PL(99),PG(99),PRESS(99),TEMP(99)

READ 1,M,N

DO 900 J=1,N

900 READ 2,PRESS(J),TEMP(J)

PR NT 3

PR NT 89

PR NT 4

PR NT 89

PR NT 5

PR NT 89

PR NT 6

PR NT 89

101 PR NT 7

PR NT 89

PR NT 9

PR NT 89

103 PR NT 10,N,M

PR NT 89

104 PR NT 11

PR NT 89

PR NT 12

PR NT 89

106 DO 107 I=1,M

READ 13,Z(I),CK(I),PM(I),GL(I)

107 PRINT 14,Z(I),CK(I),PM(I),GL(I)

RLA=1.

RLB=1.

PAUSE

GORA=0.

K=0

DO 400 J=1,N

100 R=0.1

99 S=0.

DO 497 I=1,M

X(I)=Z(I)/(1.+R*(CK(I)-1.))

497 S=S+X(I)

IF(S-1.)998,200,105

998 R=R+0.1

GO TO 99

105 R=R-0.09

995 S=0.

176 LOADED

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - LIMA - PERU

FACULTAD DE PETROLEO

30 DE MARZO DE 1967

OCTAVIO EDUARDO DE-LELLIS GALLO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PETROLEO EN UN PROCESO DE SEPARACIÓN

NUMERO DE ETAPAS

NUMERO DE COMPONENTES

3

COMPOSICION DE LA ALIMENTACION DEL PROCESO

FRAC. MOL	CONSTANTE K	PESO MOL	GAL. LIQ
.861000	.270000000E+02	16.040	6.413
.067000	.480000000E+01	30.070	9.543
.026100	.130000000E+01	44.090	10.439
.005000	.550000000E-00	50.120	12.455
.000500	.410000000E-00	50.120	11.951
.002600	.170000000E-00	72.150	13.674
.002900	.131000000E-00	72.150	13.734
.003900	.410000000E-01	66.170	15.591
.023000	.180000000E-02	137.000	22.455

ETAPA NUMERO

Z	X	Y	S	VL	PL	PG
.SISTEMA	LIQUIDO	VAPOR	SUMA DE X	VOLUMEN LIQUIDO	PESO LIQUIDO	PESO GAS
FRAC. MOL	FRAC. MOL	FRAC. MOL		GAL/MOL	LBS./MOL	LBS. MOL
.061000	.032724	.883552	.32724184E-01	.55627778E-02	.13913450E-01	.13796526E+02
.067000	.014257	.068436	.46981708E-01	.36443319E-02	.11364208E-01	.20033257E+01
.026100	.018917	.026295	.65899381E-01	.52346575E-02	.22109019E-01	.11286399E+01
.005000	.008897	.004893	.74797316E-01	.29260558E-02	.13708074E-01	.27689192E-00
.008500	.019969	.008187	.94767282E-01	.63262045E-02	.30765543E-01	.46325445E-00
.002600	.013541	.002302	.10830888E-00	.49800476E-02	.25898114E-01	.16169188E-00
.002900	.018826	.002466	.12713582E-00	.68539083E-02	.36006224E-01	.17322877E-00
.003900	.058717	.002407	.18585283E-00	.24266075E-01	.13411633E-00	.20194666E-00
.023000	.813889	.001465	.99974267E-00	.48532490E-00	.29556148E+01	.19530512E-00

NUMERO DE MOLES EN EL LIQUIDO .26507065E-01
 NUMERO DE MOLES EN EL VAPOR .97349293E-00

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS
 .63781251E-00

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LIQUIDO
 .71369433E-00

GRADO A.P.I.
 .66764148E+02

CANTIDAD DE GAS SCF/MOL
 .36934321E+03

GAS TOTAL SCF GOR SCF/BBL
 .36934321E+03 .28456935E+05

GOR ACUMULATIVO
 .28456935E+05

ESTA ETAPA SE CALCULO A LA PRESION DE .10000000E+03 PSIA
 Y A LA TEMPERATURA DE .60000000E+02 GRADOS FAHRENHEIT
 PS

ETAPA NUMERO 2

Z	X	Y	S	VL	PL	PG
.SISTEMA	LIQUIDO	VAPOR	SUMA DE X	VOLUMEN LIQUIDO	PESO LIQUIDO	PESO GAS
FRAC .MOL	FRAC .MOL	FRAC .MOL		GAL/MOL	LBS ./MOL	LBS . MOL
.032724	.015170	.788872	.15170625E-01	.25203433E-02	.63038060E-02	.76096442E-02
.014257	.011975	.112567	.27145930E-01	.29915325E-02	.93285681E-02	.20356401E-02
.018917	.018247	.047807	.45392950E-01	.49345303E-02	.20841406E-01	.12676124E-02
.008897	.008897	.008897	.54290884E-01	.28596702E-02	.13397068E-01	.31100541E-03
.019969	.020083	.015062	.74374765E-01	.62179450E-02	.30239056E-01	.52648701E-03
.013541	.013758	.004196	.88133315E-01	.49450348E-02	.25716034E-01	.18207990E-03
.018826	.019156	.004616	.10729013E-00	.68157762E-02	.35805901E-01	.20032254E-03
.058717	.059982	.004198	.16727275E-00	.24226707E-01	.13389874E-00	.21758688E-03
.013889	.032725	.002531	.99999782E-00	.48529065E-00	.29554063E+01	.20856861E-03

NUMERO DE MOLES EN EL LIQUIDO .25905679E-01
 NUMERO DE MOLES EN EL VAPOR .60138578E-03

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS
 .43531879E-03

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LIQUIDO
 .71660564E-00

GRADO A.P.I.
 .65950673E+02

CANTIDAD DE GAS SCF/MOL
 .22816576E-00

GAS TOTAL SCF GOR SCF/BBL
 .36957138E+03 .17719902E+02

GOR ACUMULATIVO
 .28701803E+05

ESTA ETAPA SE CALCULO A LA PRESION DE .50000000E+02 PSIA
 Y A LA TEMPERATURA DE .50000000E+02 GRADOS FAHRENHEIT
 PS

ETAPA NUMERO 3

Z SISTEMA FRAC. MOL	X LIQUIDO FRAC. MOL	Y VAPOR FRAC. MOL	S SUMA DE X	VL VOLUMEN LIQUIDO GAL/MOL	PL PESO LIQUIDO LBS./MOL	PG PESO GAS LBS. MOL
.015170	.002953	.516917	.29538126E-02	.47906164E-03	.11982143E-02	.51055916E-02
.011975	.006711	.228177	.96649084E-02	.16366387E-02	.51035701E-02	.42249980E-02
.018247	.015424	.134188	.25088910E-01	.40719571E-02	.17198255E-01	.36431508E-02
.008897	.008432	.027997	.33521804E-01	.26457916E-02	.12395084E-01	.10019046E-02
.020083	.019446	.046281	.52967811E-01	.58773546E-02	.28582700E-01	.16563561E-02
.013758	.013794	.012277	.66762430E-01	.48401477E-02	.25170502E-01	.54545229E-03
.019156	.019289	.013695	.86052214E-01	.66999509E-02	.35197426E-01	.60847503E-03
.059982	.061130	.012837	.14718275E-00	.24103461E-01	.13321757E-00	.68116015E-03
.832725	.852815	.007590	.99999060E-00	.48518551E-00	.29547659E+01	.64030457E-03

NUMERO DE MOLES EN EL LIQUIDO .25289906E-01
 NUMERO DE MOLES EN EL VAPOR .61577311E-03

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS
 .62764233E-03

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LIQUIDO
 .71959153E-00

GRADO A.P.I.
 .65139333E+02

CANTIDAD DE GAS SCF/MOL
 .23362432E-00

GAS TOTAL SCF .36980500E+03
 GOR SCF/DBL .18322111E+02

GOR ACUMULATIVO
 .29002154E+05

ESTA ETAPA SE CALCULO A LA PRESION DE .14700000E+02 PSIA
 Y A LA TEMPERATURA DE .60000000E+02 GRADOS FAHRENHEIT
 STOP

END OF JOB

CONCLUSIONES

APENDICE

CONCLUSIONES

EN EL PROBLEMA QUE HA SIDO RESUELTO, 3 ETAPAS DE SEPARACIÓN A TEMPERATURA CONSTANTE Y 9 COMPONENTES, PODEMOS APRECIAR QUE LA VELOCIDAD DE SOLUCIÓN (10 MINUTOS) ES BASTANTE SUPERIOR A LA QUE EMPLEARÍA UNA PERSONA AL HACERLO MANUALMENTE (O CON CALCULADORA) Y QUE LA EXACTITUD DE LOS RESULTADOS LOGRADOS ES SUFICIENTE PARA CUALQUIER PROCESO DE CAMPO O LABORATORIO.

DEBIDO A LA APROXIMACIÓN QUE LA COMPUTADORA DA, NO LOGRAMOS UN RESULTADO EXACTO PERO SI MUY CERCA A LA REALIDAD, POR EJEMPLO, LA SUMA DE LOS VALORES DE X NO LLEGA A 1, PERO CON .99999868 PODEMOS TENER IDEA DEL VALOR REAL.

PODEMOS NOTAR TAMBIÉN QUE LA SUMA DE FRACCIONES MOLARES EN LAS 3 ETAPAS SE APROXIMA BASTANTE A LO REAL:

ALIMENTACION	1 MOL		
		(ETAPA PRIMERA)	
VAPOR	0.97349293	LÍQUIDO	0.026507065
			(SEGUNDA ETAPA)
VAPOR	0.00060138578	LÍQUIDO	0.025905679
			(TERCERA ETAPA)
VAPOR	0.00061577311	LÍQUIDO	0.025289906
	TOTAL		0.025289906
			0.00061577311
			0.00060138578
			0.97349293
			<hr/>
			0.999999994889 MOLES
PERDIDA POR CALCULOS			0.000000005111 MOLES/MOL

PRINTER SPACING CHART

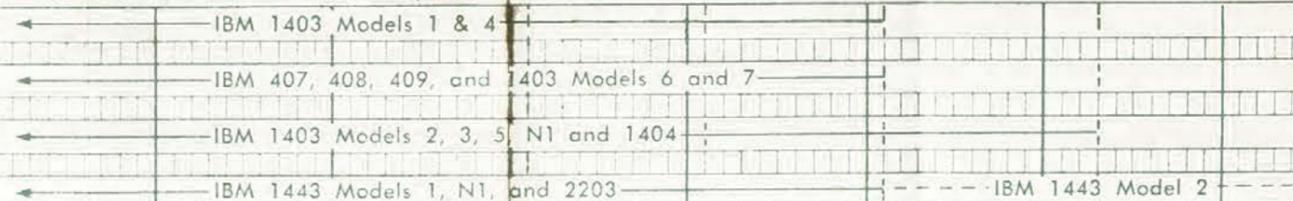
IBM 407, 408, 409, 1403, 1404, 1443, and 2203

Print span:

DESCRIPTION

FIELD HEADINGS WORD MARKS

6 Lines Per Inch



GLUE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

ETAPA NUMERO XXX

APENDICE III

Z X Y S VL PL PG
 SISTEMA LIQUIDO VAPOR PESO LIQUIDO PESO GAS
 FRAC. MOL FRAC. MOL FRAC. MOL SUMA DE X GAL/MOL LBS/MOL LBS. MOL

XX

NUMERO DE MOLES EN EL LIQUIDO XXXXXXXXXXXXXXXX

NUMERO DE MOLES EN EL VAPOR XXXXXXXXXXXXXXXX

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LIQUIDO GRADO A.P.I.
 XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX

CANTIDAD DE GAS SCF/MOL GAS TOTAL SCF GOR SCF/BBL GOR ACUMULATIVO
 XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX

ESTA ETAPA SE CALCULO A LA PRESION DE XXXXXXXXXXXXXXXX PSIA

Y A LA TEMPERATURA DE XXXXXXXXXXXXXXXX GRADOS FAARENHEIT

PS

NOTE: This form is subject to inaccuracies from variations in humidity. Dimensions of form should be calculated from measurements shown and not scaled from this chart.

APENDICE IV

REQUERIMIENTOS DE MAQUINA

* 1620 SIN MONITOR

UCP
1620 DE 40 K
1622 LECTORA-PERFORADORA
1627 MÁQUINA DE ESCRIBIR*

* 1620 CON MONITOR

UCP
1620 DE 40 K
1622 LECTORA-PERFORADORA
1627 MÁQUINA DE ESCRIBIR*
1311 UNIDAD DE DISCOS
1316 DISCO MAGNÉTICO (PACK)

* 1401 CON MONITOR

(FORTRAN IV)

UCP
1401 DE 12 K
7735 UNIDAD DE CINTA MAGNÉTICA (4)
1402 LECTORA-PERFORADORA
1403 IMPRESORA

* /360 CON MONITOR

(FORTRAN IV)

UCP
2030 DE 64 K
2311 UNIDAD DE DISCOS (1)
2400 UNIDAD DE CINTAS (**)
1403 IMPRESORA
CONSOLA

* PUEDE USARSE UNA IMPRESORA 1443

** SOLO SI ES NECESARIO.

2600008000098

##JOB 5

##FORX53

*FANDK1604
30076 CORES USED
59999 NEXT COMMON
END OF COMPILATION
EXECUTION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - LIMA - PERU

FACULTAD DE PETROLEO

30 DE MARZO DE 1967

OCTAVIO EDUARDO DE-LELLIS GALLO

PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PETRÓLEO EN UN PROCESO DE SEPARACIÓN

APENDICE V

U ERO DE ETAPAS

UMERO DE COFPO E TES

1

9

CO POS C O DE AL E TAC O DEL PROCESO

FRAC. OL CO STA TE PESO OL GAL.L Q

.427100	.105000000E+03	16.040	6.400
.053300	.410000000E+02	30.070	9.670
.046700	.100000000E+02	44.090	10.440
.015500	.440000000E+01	58.120	12.400
.020200	.350000000E+01	58.120	11.950
.009200	.120000000E+01	72.150	13.880
.005000	.100000000E+01	72.150	13.740
.033000	.340000000E+00	86.170	15.590
.391000	.100000000E+01	114.200	35.780

Z	X	Y	S	VL	PL	PG
.SISTEMA	LIQUIDO	VAPOR	SUMA DE X	VOLUMEN LIQUIDO	PESO LIQUIDO	PESO GAS
FRAC.MOL	FRAC.MOL	FRAC.MOL		GAL/MOL	LBS./MOL	LBS. MOL
.424100	.003944	.729803	.39448814E-02	.10633149E-01	.26649332E-01	.67759146E+01
.053300	.002206	.090475	.61515949E-02	.89871181E-02	.27946498E-01	.15747845E+01
.046700	.006990	.075586	.13150341E-01	.30772924E-01	.12995960E-00	.19290433E+01
.015500	.005222	.022978	.18372620E-01	.27272800E-01	.12783025E-00	.77302974E-00
.020200	.002254	.028891	.26627296E-01	.41544731E-01	.20205688E-00	.97196711E-00
.009200	.007916	.010133	.34544169E-01	.46279767E-01	.24056809E-00	.42321190E-00
.000600	.008600	.000600	.43144169E-01	.49766052E-01	.26132610E-00	.35916389E-00
.031300	.050650	.017221	.93794190E-01	.33256287E-00	.18381610E+01	.85895918E-00
.391100	.906205	.016311	.99999935E-00	.13655728E+02	.43585361E+02	.10782508E+01

NUMERO DE MOLES EN EL LIQUIDO .42116086E-00
 NUMERO DE MOLES EN EL VAPOR .57883913E-00

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS
 .51106874E-00

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LIQUIDO
 .39217892E-00

GRADO A.P.I.
 .22930470E+03

CANTIDAD DE GAS SCF/MOL
 .21961156E+03

GAS TOTAL SCF GOR SCF/BBL
 .21961156E+03 .64939307E+03

GOR ACUMULATIVO
 .64939307E+03

ESTA ETAPA SE CALCULO A LA PRESION DE .14700000E+02 PSIA
 Y A LA TEMPERATURA DE .10000000E+03 GRADOS FAHRENHEIT
 STOP
 END OF JOB

BIBLIOGRAFIA:

- ENGINEERING DATA BOOK
NATURAL GAS PROCESSORS SUPPLIERS ASSOCIATION.
- PROPERTIES OF PETROLEUM RESERVOIRS FLUIDS.
EMIL J. BURCIK.
- BASIC PROGRAMMING CONCEPTS AND THE IBM 1620 COMPUTER.
LEESON AND DIMITRY.
- PETROLEUM PRODUCTION HANDBOOK.
FRICK.
- IBM 1620 MONITOR I SISTEM REFERENCE MANUAL.
I.B.M.