

PALABRA VERDADERA

Aportes y Realidades de la Industria Venezolana de los Hidrocarburos
 Dr. Martín Essenfeld Yahr - Prof. Miguel Castillejo



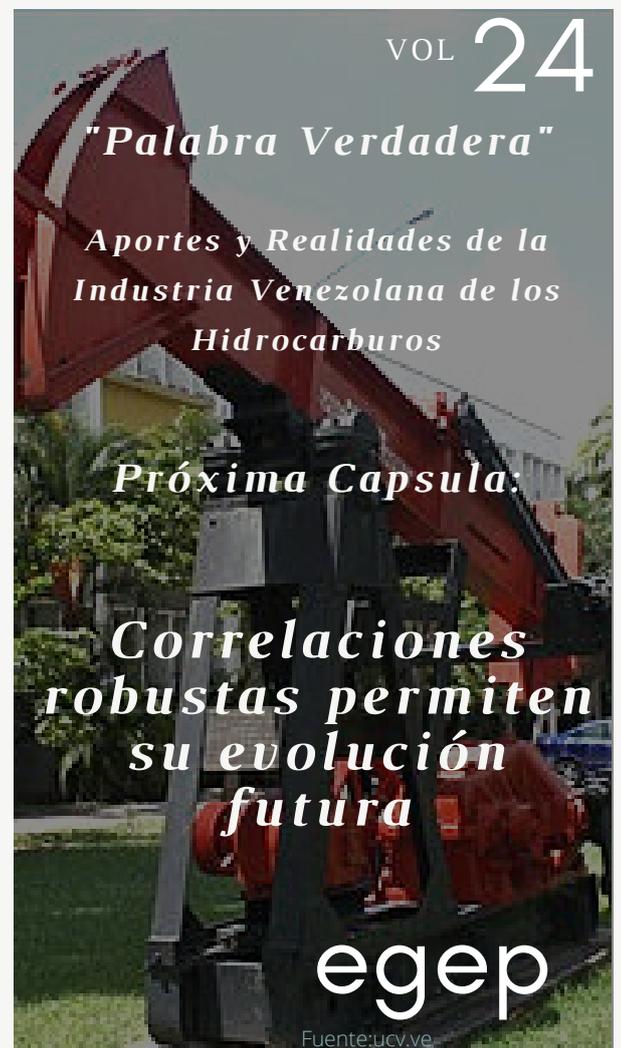
EXTENSIÓN DE DATA PVT EXPERIMENTAL: UN ENFOQUE SIMPLE PSEUDO-COMPOSICIONAL

Dr. Martín Essenfeld Yahr

Desde los inicios de la industria petrolera internacional, estimar los fluidos originalmente en sitio en los distintos yacimientos, y sus propiedades, era crítico para todas las actividades posteriores de explotación.

Se estableció como procedimiento preferido, más no requerido por norma, la toma de muestras (de fondo o recombinadas de superficie) y la ejecución de ensayos PVT (presión, volumen, temperatura) para obtener las propiedades requeridas, bajo condiciones de liberación diferencial e instantánea.

Sin embargo, en vista de que no siempre se tiene disponible ese ensayo, especialmente tomado a condiciones iniciales de descubrimiento, con cada vez mayor frecuencia se procedió a utilizar ensayos PVT de yacimientos “análogos” y a desarrollar correlaciones de propiedades básicas que partiendo del menor número de



mediciones de parámetros de producción de simple medición: gravedad API de los líquidos, temperatura promedio del yacimiento, gravedad específica del gas y otros, permitieran luego obtener curvas completas versus presión de la solubilidad de gas, factor volumétrico de formación del petróleo (Bo) y factor volumétrico de formación del gas (Bg). El trabajo original de M. B. Standing 1947 California Research Corporation [1] es el **inicio formal del desarrollo de esas correlaciones.**

El problema en Venezuela y su evolución

Con la llegada de los operadores internacionales a Venezuela, aunque si se acogió el **procedimiento formal de toma de muestras y ensayos PVT de laboratorio**, ante la velocidad del desarrollo de los campos y el costo de esos procedimientos, cada vez más se usaban las Correlaciones de Standing para generar las curvas de propiedades versus presión, para primero estimar los volúmenes originales de hidrocarburos en sitio, estimar recobros “finales” posibles y luego formular los Planes y Pronósticos de Producción que condujeran a lograr recuperar esos volúmenes estimados.

Con el pasar del tiempo avanzaron numerosos “ajustes locales” a esas correlaciones, ampliando la Base de Datos con crudos venezolanos (Creole Petroleum con C. Putman, Universidad del Zulia con Manucci y Rosales, Universidad Central de Venezuela con J. Jones-Parra y muchos otros).

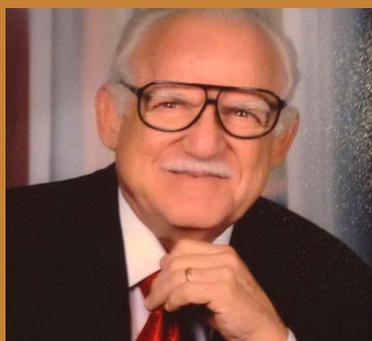
En 1985, bajo la guía de Cesar Pieve y Juan Jones-Parra, hubo un **nuevo e importante desarrollo**, sobre la base conceptual original de Standing, utilizando ensayos PVT análogos al yacimiento objeto de estudio en cuanto a temperatura de yacimiento y gravedad API residual del crudo a condiciones de superficie post-separación. Este **novedoso procedimiento pseudo-composicional** se basó en utilizar la gravedad específica de todos los gases liberados diferencialmente en el “ensayo PVT análogo” elegido, la construcción de una curva de **gravedad específica ponderada de los gases liberados** hasta cada nivel de presión, y finalmente la “normalización” de la curva de gravedad específica del gas versus presión.

Finalmente, se desarrolló un procedimiento estándar para utilizar los “formatos” de Standing para presión de burbujeo y factores volumétricos, pero normalizando los valores requeridos en los formatos de Standing (A y B en las Figuras 1 y 2), sólo que ahora (a **diferencia de Standing) A y B no eran constantes, sino variables con presión normalizada**, y dependientes de la variación en composición, como lo refleja la gravedad promedio ponderada del gas liberado: **Por eso, este nuevo desarrollo se denominó de carácter pseudo-composicional.**

Un juego de resultados típicos se muestra en las Figuras 3 a 6 (tomadas de la Referencia [2]).

El novedoso procedimiento lo utilizó con éxito EGEP desde 1985 y por más de 30 años, probándolo en los más variados escenarios, cotejando los resultados con pruebas adicionales de laboratorio, a medida que iba creciendo la Base de Datos de ensayos experimentales de PVT que la empresa iba poblando con cada nuevo proyecto.

Esta aplicación masiva se inició luego que el trabajo original fuera presentado y aprobado públicamente en Enero 1985 en la Universidad Central de Venezuela como Trabajo Especial de Ascenso de Instructor a Asistente por Martin Essenfeld (Referencia [2]).



Dr. Martín Essenfeld Yahr, CEO de EGEP Consultores

Graduado Summa Cum Laude en 1966 de la Universidad Estatal de Pennsylvania, EE. UU.
Con un B.S. en Ingeniería de Petróleo y Gas Natural y un Doctorado en Ingeniería de Petróleo y Gas Natural en 1970.

Luego de trabajar en Mobil, en 1972 funda Egep Consultores y hasta la fecha ha sido un referente internacional en el área de la producción de petróleo y gas, realizando miles de proyectos para operadoras como Shell, Exxon, PDVSA y compañías en todas partes del mundo.

$$Pb = A \left[\frac{R_s}{\gamma g} \right]^{0.83} \left[\frac{10^{0.00091T}}{10^{0.0125^\circ \text{API}}} \right] \quad \text{Ecuación 1}$$

de donde:

$$A = \frac{Pb}{\left[\frac{R_s}{\gamma g} \right]^{0.83} \left[\frac{10^{0.00091T}}{10^{0.0125^\circ \text{API}}} \right]} \quad \text{Ecuación 2}$$

Figura 1 Formato de Standing para Correlación de Presión de Burbujeo y Solubilidad de gas [2]

$$B_o = B + 0,000147(F)^{1,75} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$F = R_s \left[\frac{\gamma g}{\gamma_o} \right]^{0,5} + 1.25(T) \quad \text{Ecuación 4}$$

Figura 2 Formato de Standing para Correlación de Factor Volumétrico de Formación del Petróleo (Bo) Versus solubilidad de gas (Rs) [2]

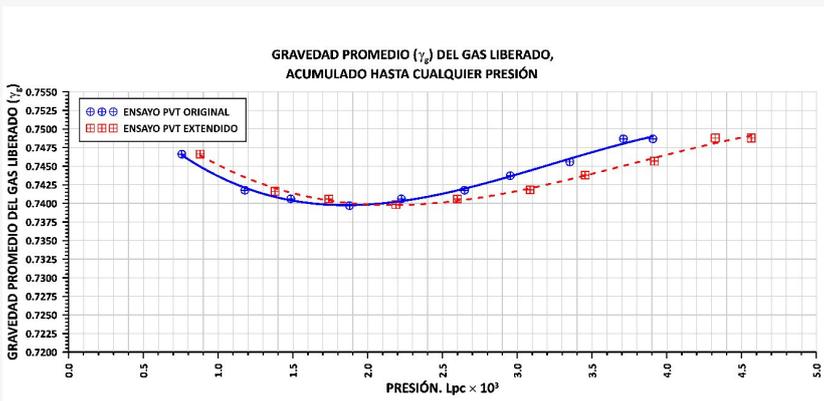


Figura 3 Gravedad Ponderada Volumétricamente del Gas versus Presión Normalizada [2]

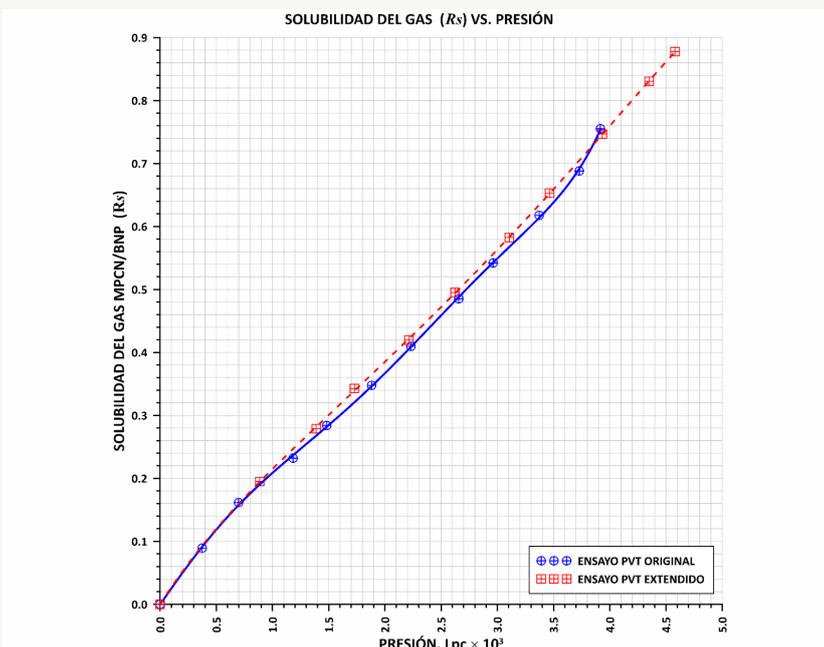


Figura 4 Solubilidad del Gas (Rs) versus Presión Normalizada [2]

Ingeniería venezolana para el progreso

Si bien es cierto que el trabajo original de Standing (1947) fue la **robusta base conceptual** para las Correlaciones Originales de Presión de Burbujeo y Factor Volumétrico, y aunque dicha base incluía un análisis de fondo de los parámetros de mayor importancia (gravedad API residual, solubilidad, temperatura y gravedad del gas en solución), la contribución del **novedoso tratamiento pseudo-composicional** desarrollado por los Ingenieros de Petróleo Venezolanos Juan Jones-Parra, Cesar Pieve D. y Martin Essinfeld fue reconocida de inmediato a nivel nacional e internacional.

Este procedimiento quedó reflejado por la normalización de la gravedad ponderada del gas en solución como parámetro índice de composición del sistema, así como el concepto de la **variabilidad composicional de las “Constantes” A y B de Standing (Referencia [1])**. Su uso exitoso por más 35 años en EGEP así lo confirma.

Conclusión y Corolario

Es verdad: el desarrollo original de Standing se realizó en 1947, temprano en el desarrollo de la industria de los hidrocarburos. Sin embargo, ello no impidió que los Ingenieros Venezolanos utilizaran la robusta base conceptual de Standing y **casi 40 años después lograran un desarrollo incremental sobre esa base, partiendo del resultado original estadístico sobre los parámetros correctos, agregando una dimensión pseudo-composicional al desarrollo original estadístico.**

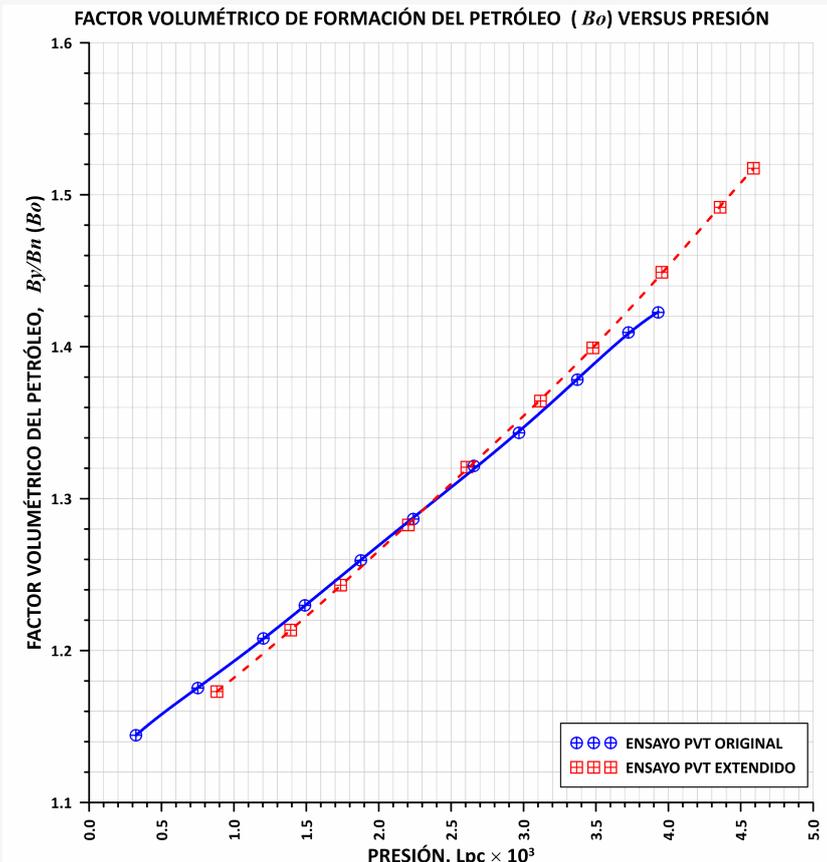


Figura 5 Factor Volumétrico de Formación del Petróleo (B_o) versus Presión Normalizada [2]

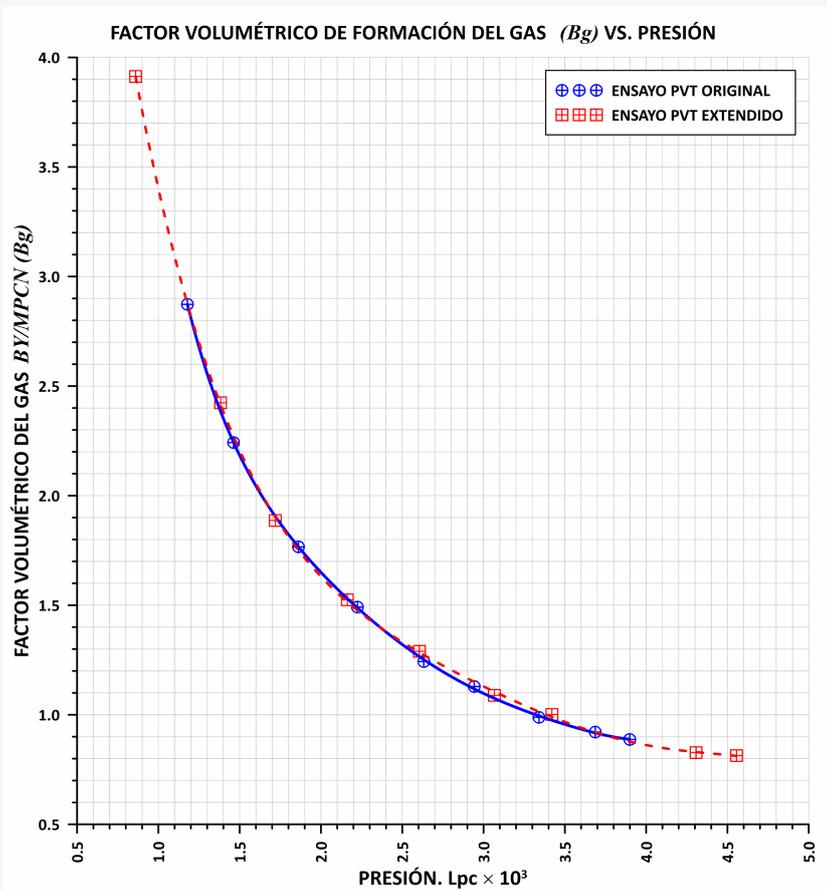


Figura 6 Factor Volumétrico de Formación del Gas (B_g) versus Presión Normalizada [2]

Se confirma que siempre hay espacio para crecer sobre un concepto original correcto, aún 40 años después. El concepto original era válido y el nuevo desarrollo continúa vigente y exitoso.

La escuela de Petróleo de la UCV

Aunque en otros volúmenes de PALABRA VERDADERA lo hemos resaltado, es oportuno en este caso comentar varios puntos de interés referidos a metodología de análisis de ingeniería, diagnóstico certero de parámetros determinantes, tratamiento estadísticamente robusto de variables, y finalmente capacidad y talento para innovar en el tiempo, cuando la Base Original es confiable y robusta.

Pasemos a los detalles. La metodología de Standing fue acertada, oportuna y robusta porque desde el trabajo original (1947) **identificó correctamente los parámetros críticos que mejor reflejaban la naturaleza o valores de las propiedades bajo análisis** (solubilidad de gas, temperatura, gravedad API del líquido residual y gravedad promedio de los gases disueltos).

Es verdad que ese tratamiento original no incluía un tratamiento “formal” ni de las condiciones variables de separación, ni de su naturaleza (instantánea y diferencial), ni de las diferencias importantes entre distintos grupos de crudos (por origen y/o composición fisicoquímica). Pero, sin lugar a dudas, la metodología estadística de análisis (obviamente correcta) lo llevó a identificar los parámetros críticos, a pesar de que terminara utilizando “valores constantes” en

las correlaciones de R_s , B_{oi} y B_g a distintos valores de presión, solubilidad y temperatura. El mismo autor original así lo indicó.

Con el pasar de los años, los Ingenieros Venezolanos lograron avances “ajustando” la correlación a condiciones “locales” y así se fueron cambiando las Constantes de Standing para reflejar mejor las condiciones de las nuevas y crecientes Bases de Datos locales.

Pero la última fase de desarrollo que trata este Volumen 24 se refiere a la **capacidad para innovar**, el talento y la perseverancia.

Es así, como resultado del trabajo de EGEP, estrechamente asociado a los esfuerzos de investigación de sus Ingenieros Venezolanos que también eran docentes en nuestra Escuela de Petróleo, que se logra el desarrollo pseudo-composicional que llevó las Constantes de Standing a representarse como valores “variables” que reflejaran, mediante la normalización de la presión y la gravedad específica de los gases liberados, a **toda una nueva etapa de avance de una Correlación ya robusta originalmente**.

Es así como este logro de la Ingeniería de Petróleo Venezolana sirvió para fortalecer el trabajo de formación de nuestros jóvenes ingenieros, cuya excelencia profesional ha quedado probada con su desempeño en Venezuela y en el mundo durante los más de 35 años posteriores. Innovación y creatividad, con talento, partiendo de un trabajo original robusto.

Prof. Miguel Castillejo
Director
Escuela de Ingeniería de
Petróleo UCV
Agosto-2021

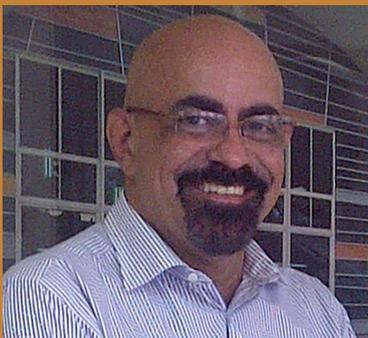
Referencias

- [1] M. B. Standing, «*Volumetric and Phase Behavior of Field Hydrocarbon Systems*,» California Research Corporation, 1947.
- [2] M. Essenfeld, «Procedimiento para extensión de data PVT *experimental*,» Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1985.



egep
CONSULTORES

<http://egepconsultores.com>



Prof. Miguel Castillejo, Director, Escuela de Petróleo UCV

Graduado en la Universidad Central de Venezuela de Ingeniero de Minas en 1981. Ha ocupado varios cargos Directivos dentro de la Institución. En la actualidad se desempeña como Profesor Titular y Director de la Escuela de Ingeniería de Petróleo, dedicado principalmente a la Geomecánica Minera, Petrolera y Civil. También es Coordinador del Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Escuela de Geología Minas y Geofísica, es asesor de estudiantes en Tesis de grado y Postgrado, así como en el desarrollo de proyectos de Geomecánica en Obras Civiles de gran importancia para el país.

miguel.castillejo@ucv.ve