

# PALABRA VERDADERA

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



Fuente: Pixabay.com

## PUEBAS SISTEMÁTICAS DE MODELOS ANTES DE SU APLICACIÓN DE ALTO COSTO

*Dr. Martín Essenfeld Yahr*

### Introducción

Desde hace más de 35 años, con el desarrollo de la capacidad de computación de alto volumen y velocidad, a bajo costo, y mayor acceso a cada vez más “desarrolladores”, fue creciendo la aparición en el mercado (cada vez más) de “Modelos o Herramientas” que representan o intentan representar procesos físicos reales y complejos, emulando su conducta.

El concepto es fundamentalmente sencillo: cualquier proceso físico, si es estudiado sistemáticamente y comprendido en sus principios físicos, debe poder ser representado por ecuaciones (del tipo de leyes físicas) o por ecuaciones de correlación.

Esto se ha denominado **Análisis Mecánico y Análisis Estadístico**, respectivamente.

VOL **28**

- Evaluación de sub-recursos prospectivos

**“Palabra Verdadera”**  
**Exploración**

*Aportes y Realidades de la Industria Venezolana de los Hidrocarburos*

- Análisis de datos sísmicos y otros datos para decidir perforar o el abandono del área
- Cuantificación de recursos

**Evaluación**

**Próxima Capsula:**

**Optimización**  
**Desarrollo integral de producción:**

- Generación planes de máximo recobro de comercialidad.
- Desarrollo u Optimización
- Cuantificación de recursos

**un enfoque exitoso ya probado**

- Planifica y lleva a cabo perforación de pozos avanzada.
- Adapta las operaciones de producción.

**Operaciones**

**egep**

Fuente: Pixabay.com

En cualquier caso, se intenta y logra “representar o emular el proceso físico” utilizando un grupo de ecuaciones relacionadas entre sí, que en su conjunto se denominan el “Modelo del Proceso”. Una vez desarrollado, probado y aceptado, el Modelo del Proceso se puede usar en **modalidad predictiva**, sometiéndolo a cualquier combinación de condiciones que pudieran ocurrir a futuro, que quieran ser evaluadas por el usuario del Modelo, para evaluar las “respuestas” (predicción). Con esos “pronósticos” ya disponibles (si son confiables) se podrán elegir a-priori las mejores condiciones de operación que el usuario pueda controlar, y obtener los “mejores” resultados, que en principio deben ser similares a los resultados ya pronosticados.

Esa es la teoría. **En la práctica**, no necesariamente las distintas aplicaciones disponibles en el mercado han sido **suficientemente probadas**, y tampoco se conoce en muchas instancias si el análisis que del fenómeno o proceso que condujo a las “ecuaciones o correlaciones funcionales” con las que se construyó el Modelo son **rigurosamente válidas** al punto que sus pronósticos tengan un grado de **confiabilidad suficiente**.

Con estos antecedentes generales, se procedió, en un caso-ejemplo del año 2000, a configurar un Esquema Sistemático de Prueba del Modelo de un Proceso Complejo de Producción de Hidrocarburos como es el Modelo de Doble Porosidad y Doble Permeabilidad para Representar un Sistema Fracturado (Referencia [1]).

## Describiendo el problema

En el año 2000 habían en el mercado diferentes opciones de Modelos comerciales que se decían “capaces de representar adecuadamente los sistemas fracturados de producción” (matriz con cierta porosidad) y red de fracturas. Es así como este complejo sistema de flujo existe en distintas cuencas de Venezuela (yacimientos de caliza-arenosa fracturada, yacimientos clásticos de alta dureza, baja porosidad y fracturados, y otras combinaciones).

Se planteó un Programa de Colaboración entre INTEVEP-PDVSA y la Universidad Central de Venezuela para desarrollar un Sistema de Prueba Sistemática que se pudiera aplicar a un Modelo Específico, cuya licencia estaba por adquirirse. Además, se deseaba que el Procedimiento o sistema fuese suficientemente genérico en su diseño, para ser replicado a futuro en la evaluación de **otras herramientas o modelos que representaran otros procesos de flujo**.

El Caso Ejemplo elegido fue un Modelo de Doble-Porosidad y Doble-Permeabilidad para representar un sistema fracturado productor de hidrocarburos, con presencia de hidrocarburos tanto en la matriz de baja porosidad como en el sistema de fracturas, y permeabilidades-tipo distintas para ambos sistemas de flujo, concatenados físicamente y en el tiempo.

## Verificación de la descripción mecánica del modelo y etapas posteriores

Como primera etapa se incluyó y acometió la Verificación Mecánica de la Descripción de los Procesos de Flujo que conforman los dos sistemas de flujo integrados: matriz y fracturas.

El equipo integrado INTEVEP-UCV recibió de los desarrolladores (INTERA TECHNOLOGIES) el tratamiento conceptual (debidamente protegido en su propiedad intelectual).

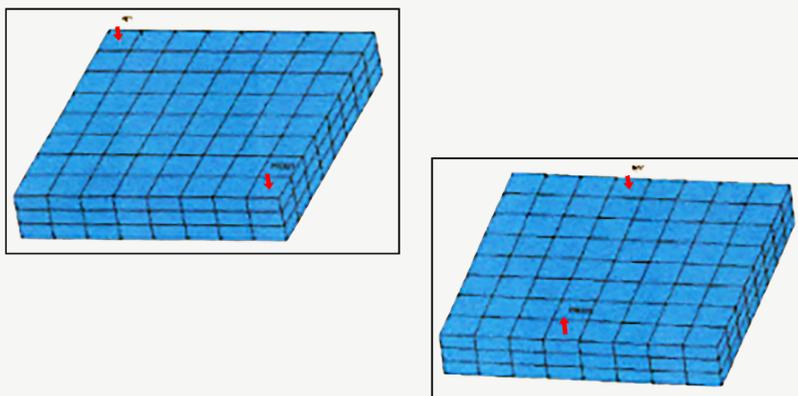
Se verificó que el diagnóstico de los parámetros críticos esenciales se había cubierto, al igual que la relación entre los grupos de parámetros. Se cumplió satisfactoriamente esta etapa.

Como segunda etapa del Sistema de Prueba Sistemática del Modelo se construyó una Tabla-Tipo de Información Básica Requerida, que permitiera garantizar que en las pruebas posteriores se estaban utilizando **datos confiables de los parámetros críticos** de cada uno de los dos sistemas de flujo (permeabilidad, presión capilar y permeabilidades relativas).

Como tercera etapa, se configuró una malla controlada, suficientemente amplia y detallada para representar un Sistema Físico de Prueba que sería sometido luego (en etapa posterior) a condiciones físicas de borde, con respuesta “conocida” ante lo extremo de las condiciones (tres capas (z) y una malla areal de 64 celdas (8x8 - x,y) para un total de 192 celdas). Se incluyó en la configuración un inyector y un productor, en experimentos de diez años, con 20 pasos de tiempo de 180 días cada uno (Figura 1).

En la cuarta etapa se construyó un conjunto de 11 casos con condiciones extremas de borde en todos los sentidos, a fin de se pudieran evaluar mediante los Pronósticos y la **evaluación** de los resultados, la respuesta del Modelo al Conjunto de Casos Extremos (de resultados físicamente predecibles desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo).

En la quinta y última etapa se identificaron nueve pares “clave” de resultados que se pudieran evaluar con facilidad como “coherentes en su respuesta con las condiciones extremas de borde” y fueron: presión promedio versus tiempo; factor de recobro versus tiempo; tasa de producción de petróleo versus tiempo; producción acumulada de petróleo versus tiempo; corte de agua versus tiempo; tasa total de líquido versus tiempo; y tasa de inyección de agua versus tiempo.



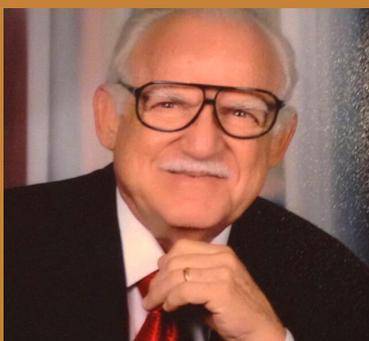
**Figura 1 - Mallado Tridimensional (192 celdas) Prueba Sistemática de Modelo de Doble Porosidad y Doble Permeabilidad para Sistema Fracturado [1]**

## Resultados e ingenieros responsables del desarrollo

Independientemente del tiempo y esfuerzo dedicado a las primeras cuatro etapas de desarrollo del sistema (parámetros críticos del análisis mecanístico, información básica, malla de prueba, programa de casos extremos), la clave del éxito del Sistema de Prueba estuvo y estará a futuro al usarlo en otros sistemas físicos y otros Modelos, en la quinta y última etapa de **Análisis de Resultados de Modelaje**, al completar la comparación con resultados anticipados para las condiciones de borde impuestas.

Para los 11 casos evaluados en el desarrollo, los resultados fueron los anticipados, en todas sus partes (presión, corte de agua, distribución volumétrica de los fluidos etc.). Así se demostró que el Modelo sometido a Prueba (bajo condiciones extremas) llevaba a los resultados anticipados, y que el Sistema de Prueba desarrollado era, **en principio, adecuado**.

A futuro, y luego de adquirir las Licencias de Prueba, se invertiría el tiempo y los recursos en una “prueba de campo”: Es decir, para el campo real elegido, con todos los pozos en su sitio, las tasas de inyección y pruebas del campo, y en la escala de tiempo real, se avanzaría en la



Dr. Martín Essfeld 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.

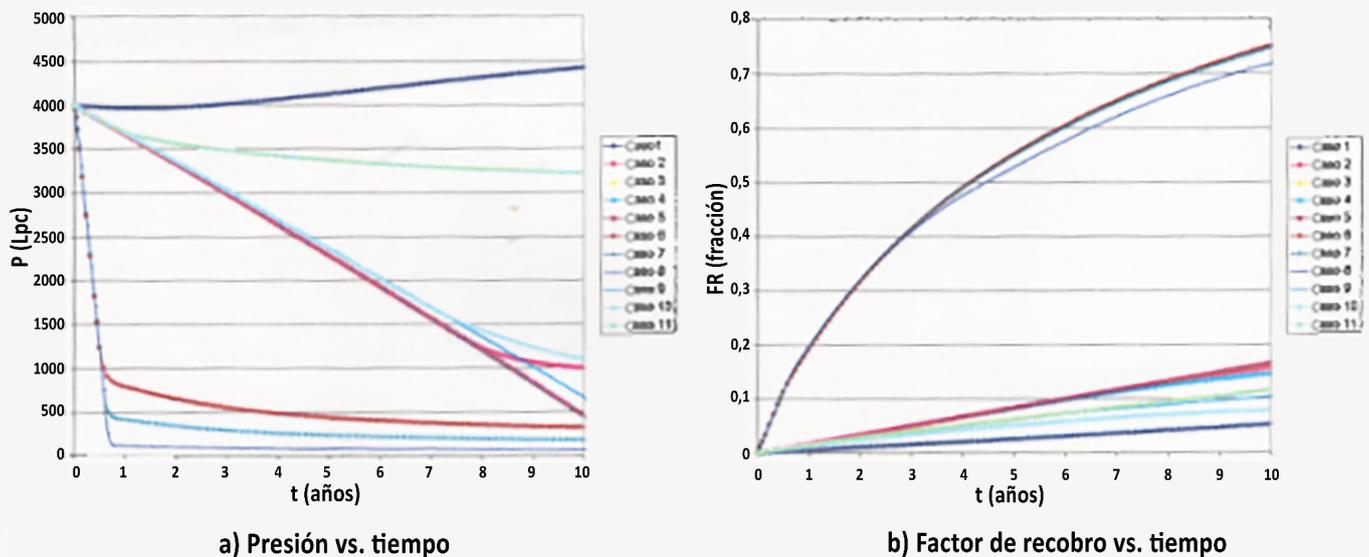


Figura 2 - Muestra de algunos Resultados de los Pronósticos de Producción [1]

capacidad de cotejar **un primer tramo de conducta histórica (10 años)** y luego “pronosticar” **los segundos diez años de historia**, para finalmente **comparar ese pronóstico de 10 años con lo realmente ocurrido**. Por eso se eligió un yacimiento con **veinte años** de historia disponible.

Por la UCV el responsable de este trabajo inicial fue Jairo Ruiz, en proceso de graduación, tutoriado por M Essenfeld y como tutores industriales S. Buitriago y G. Gedler de PDVSA-INTEVEP quienes luego publicaron el trabajo de la Referencia 2 a nivel internacional.

## Desde la Escuela de Petróleo de la UCV

Desde antes del Acto Nacionalizador y la transformación de las Operadoras en filiales de PDVSA, la Escuela de Ingeniería de petróleo ya mantenía relaciones de cooperación con las Operadoras Internacionales. Muchos de nuestros Profesores provenían de la Industria de Operadoras Concesionarias. Luego de 1976, la situación se mantuvo y se incrementó.

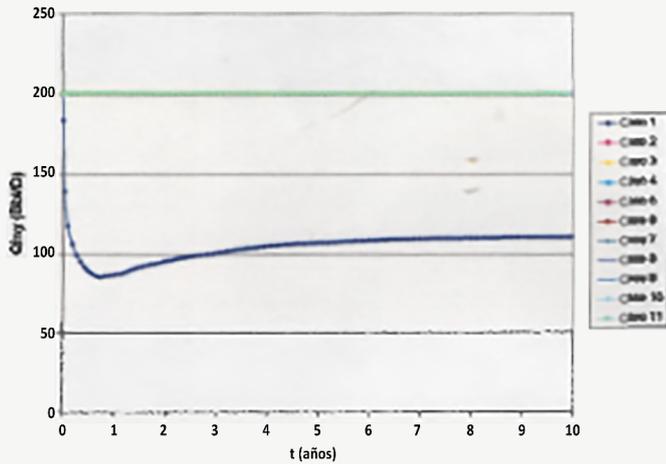
Siempre hubo trabajos de grado, trabajos de ascenso y líneas de investigación, antes de 1976, y se incrementaron con la Nacionalización.

Con la constitución y puesta en marcha del INTEVEP la colaboración creció, igual que creció el apoyo que las Empresas Internacionales de Servicio daban a la Escuela en cuanto a la dotación de Licencias de Modelos y cupos para pasantes, trabajos de grado y otros.

Este Volumen # 28 de Palabra Verdadera es un excelente ejemplo de lo lejos que han llegado las relaciones UCV-Industria. El trabajo fue acordado entre el Tutor Académico de la Escuela de Petróleo y los Tutores Industriales del INTEVEP. El Profesional en proceso de grado recibió una formación “en el trabajo” del más alto nivel, y su rendimiento fue reconocido de inmediato tanto por el INTEVEP como por la UCV. La publicación en las revistas del SPE así lo confirma, pero igual de importante es que el Ing Ruíz se incorporó de inmediato al trabajo profesional formal, y continuó trabajando con éxito en esa área en la que se inició.

En la Escuela de Petróleo quedó el primer producto, y se continuó la línea de investigación.

Así, cada vez que las empresas desarrolladoras de Modelos y Aplicaciones ceden a la Universidad licencias de sus productos para usarlos en la formación de nuestros estudiantes, inmediatamente se inician los procesos de Prueba Sistemática de los Modelos, tal y como se desarrollaron en el trabajo descrito.



a) Tasa de Inyección de agua vs. Tiempo



b) Saturación de petróleo a los 10 años de producción para el Caso 2 (izquierda) y caso 3 (derecha)

Figura 3 - Muestra de algunos resultados adicionales de los Pronósticos de Producción [1]

Ello contribuye significativamente al proceso de formación de nuestros estudiantes, y a que se continúe trabajando en la evaluación objetiva de todas esas nuevas herramientas, en la medida de que su acceso formal llega a la Universidad.

Esta es parte de nuestra contribución al desarrollo de la Industria y del País.

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



Referencias

[1] J. Ruiz y M. Essenfeld, «Prueba Sistemática de Doble Porosidad y Doble Permeabilidad para Representar un Sistema Fracturado,» Petróleo Internacional, 06 2002.

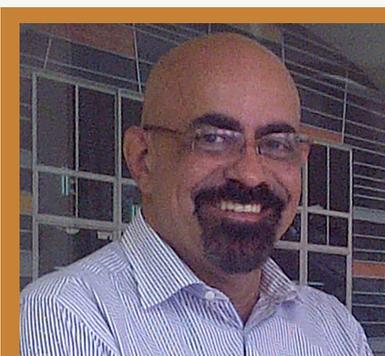
[2] S. Buitrago, G. Gedler y J. Ruiz, «SPE 69538. Characterization of Naturally Fractured Reservoirs,» 2001.

**Indicador Integrado De Interés**  
<http://egepconsultores.com>

La combinación de el Indicador 13 y el sistema ARKANDHA permite predecir con mayor precisión el valor monetario de cada bloque para proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos.

**Palabra Verdadera**  
 Una publicación de **EGEP** Consultores para dar reconocimiento de los Aportes y Realidades de la Industria Venezolana de los Hidrocarburos y a sus protagonistas

Encuentra todos los volúmenes de Palabra Verdadera [aquí](#)



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