

# PALABRA VERDADERA

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



Lagunillas, 1945  
Fuente: costadelsolfm.org

## LAGUNILLAS Y FAJA DEL ORINOCO ¿COMPACTACIÓN Y HUNDIMIENTO?

*Dr. Martín Essenfeld Yahr*

### Introducción

Desde que se inició la producción petrolera en el Estado Zulia, y especialmente en tierra bajo la zona costera oriental del Lago de Maracaibo (Costa Oriental del Lago – COL) se detectó (1929) que la explotación del subsuelo en yacimientos de arenas no-consolidadas (deleznales) a relativa poca profundidad de la superficie, llevaba al “hundimiento” de dicha superficie. Se concluyó que a nivel del yacimiento, en el subsuelo, el espesor original del horizonte productor se reducía, se “compactaba”, en la medida que se producía.

Así, por la falta de “material cementante entre los granos del horizonte productor” el peso de la columna sedimentaria sobre los yacimientos, hacía reducir la porosidad efectiva de dicho horizonte productor y se reducía el espesor del mismo.



VOL 9

*"Palabra Verdadera"*

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

*Próxima Capsula:*

*Recobro final  
dependiente de tasa:  
un cambio de  
paradigma*

egep

Pozo de petróleo en Lagunillas  
Fuente: reuters - Urrutía



Figura 1 - Costa Oriental del Lago de Maracaibo

Adicionalmente, la “compactación” en el subsuelo, conectado con la superficie a través de la columna sedimentaria suprayacente, se traducía en el “hundimiento” de esa área superficial ubicada **sobre** el yacimiento productor.

Reconocida la situación en 1929 por la Operadora (Venezuelan Oil Concessions-VOC) y conocido también el alto volumen de hidrocarburos en el subsuelo de toda el área costera (47 kilómetros desde Tía Juana hasta Bachaquero) y sabiendo que a futuro con la producción crecería el “hundimiento” aumentando el riesgo de inundación de las poblaciones del área como Tía Juana, Lagunillas y Bachaquero, se construye en 1932 un “dique de contención” a lo largo de los 47 kilómetros. Trabajos posteriores en 1939, 1964, y 1981 **elevan** la altura del dique, a medida que el **hundimiento del lado en tierra excede los 7-10 metros bajo el nivel del mar**, ver Figura 2.

Como parte de los trabajos de reforzamiento se dotó al dique de un rompeolas en su base.

Así, aunque la compactación era una fuente “natural” de energía de los yacimientos, al disminuir la porosidad y mantener más elevada la presión, el problema asociado e inevitable del **hundimiento superficial** representaba el lado inevitablemente negativo, que debería atenderse siempre: el dique, su mantenimiento, su elevación - lo que hiciera falta.

Desde los inicios del reconocimiento de la situación, las empresas Operadoras primero VOC y luego SHELL (encargada del mantenimiento del dique), finalmente PDVSA desde 1976, y las poblaciones de la COL, estuvieron y están ligadas a esta situación combinada, superficie-subsuelo, que no se puede desvincular: son parte integral del proceso de producción de todos los campos subyacentes.

## Las herramientas del Pasado

Desde que SHELL fue designada como “operadora del dique” para planificar y dirigir su mantenimiento, la experiencia holandesa en el manejo de este tipo de estructuras (por la propia experiencia de Holanda en su relación con el mar) tanto la empresa en sus instalaciones de La Haya como los ingenieros civiles Venezolanos trabajando en la SHELL DE VENEZUELA se ocupaban de las instalaciones de superficie (dique y su mantenimiento).

Al mismo tiempo, el equipo de los Ingenieros de Petróleo (primero de SHELL DE VENEZUELA, luego de MARAVEN y finalmente PDVSA) se ocupaban del **control en el subsuelo de la compactación**, la cual tenía sus consecuencias en el mantenimiento

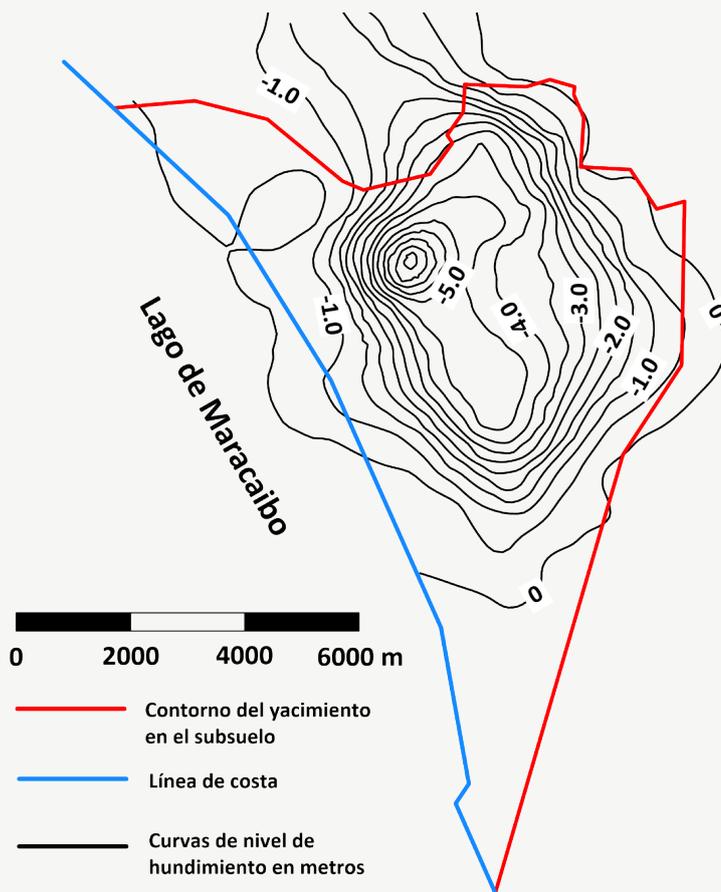


Figura 2 - Mapa de hundimiento de superficie - Área Lagunillas

de los pozos mismos a nivel de sus instalaciones en ese subsuelo (revestidores, empaques etc).

Ciertamente en ese “pasado lejano” (antes de 1975), en La Haya había modelos propios de SHELL para estudiar el comportamiento de esos yacimientos, incorporando la “compactación” como “fuente de energía natural” de producción de cualquier yacimiento sometido a análisis.

## El pasado más reciente - Ingeniería Venezolana

Aunque las empresas comerciales de modelaje de yacimientos (INTERCOMP, SCIENTIFIC SOFTWARE, VIP y otras hacían esfuerzos por incorporar el mecanismo de compactación utilizando como “artefacto” (eufemismo para indicar procedimiento aproximado) para representar la porosidad como un parámetro variable con presión, utilizando también compresibilidades “artificiales” y equivalentes de roca, **es un ingeniero venezolano distinguido, Alberto Finol, de la Universidad del Zulia, con Maestría y PhD de Penn State**, quién en 1975 publica con su Tutor S.M. Farouq Ali el Trabajo lapidario: NUMERICAL SIMULATION OF OIL PRODUCTION WITH SIMULTANEOUS GROUND SUBSIDENCE.

Este es el **primer trabajo publicado** de un Modelo operativo que enlace el comportamiento del subsuelo (fluidos y roca) con el comportamiento de la **superficie sobre el yacimiento bajo explotación**.

No hay duda alguna de lo que representó para el país, y a nivel mundial, el trabajo realizado y publicado. Como era de esperar, los resultados de Finol demostraron que el comportamiento de subsidencia en superficie dependía en buena medida de la profundidad de soterramiento del yacimiento, y por supuesto de las condiciones geomecánicas de la columna sedimentaria sobre dicho yacimiento.

Esto puso a pensar a los ingenieros y geólogos venezolanos (Juan Jones Parra, Francisco Gutiérrez, Arévalo Reyes, Cesar Pieve, Alfredo Essis, José Díaz-Muñoz y otros) sobre qué podría ocurrir años después en la Faja Petrolífera del Orinoco, cuando la misma se explotara masivamente.

## Costa Oriental del Lago vs Faja Petrolífera del Orinoco

Por la experiencia ya vivida en la Costa Oriental, y arriba descrita, conocida la extensión de la Faja más no en gran detalle ni su roca, ni su geomecánica, ni la geomecánica de la columna suprayacente, pero sí conocidas las grandes diferencias en profundidad entre los diferentes Bloques de la Faja (con aquella nomenclatura Hamaca, Zuata, Cerro Negro, Machete) y ante su enorme extensión, las diferencias de profundidad estructural dentro de una misma área, y otras características, se comenzaron a hacer algunas preguntas:

- ¿Se contaría en la FPO con la contribución de la **compactación** como energía natural que apoyara el factor de recobro final?
- ¿Habría **hundimiento** si se acometía una explotación masiva con vapor, como se pensaba en aquella época que se haría necesaria?
- ¿Habría que pensar en el manejo de las instalaciones en la superficie si se **produjera** hundimiento, si ocurría **compactación** importante?
- ¿Ayudaría el influjo de agua a pesar de la relación desfavorable de movilidades?, y muchas otras preguntas.

Este tipo de preguntas, muchas resultado del trabajo de Finol arriba referenciado, llevaron a los Ingenieros de LAGOVEN y BITOR trabajando en la Faja a hacer **evaluaciones completas** de los parámetros geomecánicos de la roca (núcleos tomados con mangas de caucho, presurizados, trasladados congelados para los laboratorios), balas marcadoras radiactivas en amplias secciones verticales de pozos de control; pruebas de inyección de vapor en pozos de Zuata, y una larga lista de otras acciones.

## La Lección Aprendida

Si, efectivamente en SHELL en Holanda había herramientas de modelaje que, en aquel pasado lejano, permitieron analizar (con sus limitaciones) la conducta de aquellos yacimientos de la COL (bastante someros algunos) cuyo recobro dependía significativamente de la compactación como fuente de energía natural.

Si, SHELL DE VENEZUELA entrenó a Venezolanos en la Haya en el uso de esas herramientas propias y no-públicas. Pero también se debe saber que fue un venezolano, egresado de la Universidad del Zulia, con el apoyo constante hacia los ingenieros venezolanos de S.M Farouq Ali, quien por

primera vez puso a disposición pública un modelo funcional que enlazara el proceso de compactación en el subsuelo con el de hundimiento en la superficie, a través de la conexión con la columna sedimentaria suprayacente, todo permitido por las condiciones de profundidad y la naturaleza de dicha columna entre el yacimiento y la superficie.

## Desde La Escuela De Petróleo - UCV

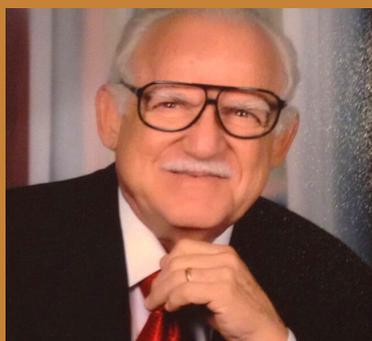
El problema de la subsidencia es general, en mayor o menor grado, para todas las explotaciones que se realizan en el subsuelo, y abarcan las explotaciones petrolíferas, mineras y acuíferos. En nuestro caso particular está subsidencia también afecta el área civil.

El problema de subsidencia en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, abarca una superficie de 452 km<sup>2</sup>, de los cuales 189 km<sup>2</sup> pertenecen al lago y 263 km<sup>2</sup> a la región de plataforma continental limitada con el borde este del lago. Con las mediciones entre 1930-1939 se determinó que la tasa anual máxima es de 22cm/año.

## Palabra Verdadera

**Encuentra todos los volúmenes aquí**

<http://egepconsultores.com>



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.

Las áreas de producción están confinadas en las poblaciones de Tía Juana, Lagunillas y Bachaquero, cuyos yacimientos están siendo explotados por más de 5300 pozos perforados en una configuración triangular y un espaciamiento de 231 metros entre pozos. La profundidad de los yacimientos es variable entre 300 y 1400 m, geológicamente constituidos por arenas no consolidadas entremezcladas con lentes de arcilla.

Dada la magnitud de los yacimientos en la Costa Oriental del Lago, en sus inicios se dieron a la tarea de construir un dique a lo largo de la costa para proteger las poblaciones de la zona. Pero la explotación continuó y como resultado el dique a lo largo de toda su historia ha ido incrementando su altura, la cual está asociada a la subsidencia en superficie por la compactación de las capas de productoras y el desplazamiento de la columna sedimentaria que sobreyace los yacimientos.

Los ingenieros venezolanos en las áreas de petróleo y geotecnia han enfrentado este problema que aumenta en el tiempo y, como lo determinó el Ing. Alberto Finol, este es un problema más severo en los yacimientos someros.

Esta subsidencia conlleva numerosos riesgos, como inundaciones, deterioro de la infraestructura de los servicios públicos, inseguridad de las viviendas, desmejora de la calidad de vida de los habitantes de la zona y un posible incremento de la actividad sísmica.

De la lección aprendida de esta explotación centenaria, la más importante causada por el desconocimiento de las características geomecánicas del subsuelo, fue construir ciudades o pueblos en zonas de alto riesgo como las presentadas y que pudo resolverse parcialmente por los grandes recursos energéticos que tienen, con los cuales pudieron pagar las obras de contención.

En cuanto a la Faja Petrolífera del Orinoco, en los sectores donde los yacimientos sean muy someros, soterrados con capas de arena suelta, se podría repetir el fenómeno de hundimiento de la Costa Oriental del Lago, con la diferencia que estos se encuentran en zonas apartadas con vastas extensiones de terreno lejanas a los campos petrolíferos, tomando en cuenta que las poblaciones deben estar emplazadas en zonas donde no se realizarán actividades petrolíferas.

La integración de toda la información disponible de todos los pozos para realizar un modelo geomecánico global de la faja, puede ayudar a estimar los asentamientos superficiales a ser tomados en cuenta para la planificación futura del territorio.

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



#### Referencias

[1] Finol, A., & Farouq Ali, S. M. (1 de 10 de 1975). SPE-4847-PA *Numerical Simulation of Oil Production With Simultaneous Ground Subsidence*. Society of Petroleum Engineers Journal, 15(05). doi:10.2118/4847-PA



**egep**  
CONSULTORES

**CREANDO VALOR  
DESDE SU PROPÓSITO**



**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

# egep

CONSULTORES



**Desarrollando Soluciones  
No Convencionales para sus  
Problemas de Yacimiento**

Pozo de petróleo en El Tigre, Faja Petrolífera del Orinoco  
Fuente: [diariolavoz.net](http://diariolavoz.net) - Foto AP/Fernando Llano