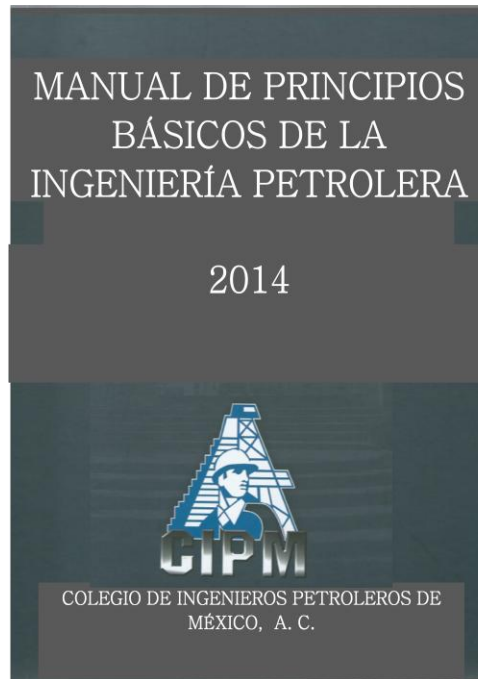


## PUBLICACIÓN

Ante los retos actuales que afronta la Industria Petrolera en México, el COLEGIO DE INGENIEROS PETROLEROS DE MÉXICO, A. C. ha editado el libro “PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA INGENIERÍA PETROLERA”.



Este libro rigurosamente técnico, de manera sencilla expone los conceptos básicos de la Industria Petrolera, en especial la Exploración y Producción del Petróleo y el Gas. Su propósito es que sirva para que todas las personas relacionadas e interesadas en esta Industria, conozcan y comprendan los procesos implicados. En particular, el libro servirá de guía para los formadores y los alumnos de la carrera de Ingeniería Petrolera.

“PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA INGENIERÍA PETROLERA” está disponible en las oficinas de la Sede del COLEGIO DE INGENIEROS PETROLEROS DE MÉXICO, en Poniente 134 No. 411, Col. San Bartolo Atepehuacan, Del. Gustavo A. Madero, C. P. 07730, México D. F. 52606848, 52606537, Micro PEMEX 811 22028, [www.cipm.org.mx](http://www.cipm.org.mx)

# **MANUAL DE PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA INGENIERÍA PETROLERA**

**M. I. CARLOS ISLAS SILVA  
2014**

## PRÓLOGO

Carlos Islas, entrañable amigo desde nuestra época de estudiantes de ingeniería petrolera, me ha conferido el honor de escribir esta presentación de su libro. Décadas de amistad nos unen, desde cuando disfrutábamos de las aulas de aquella maravilla de palacio que nació para la enseñanza de la minería en México y de aquellas bellísimas joyas arquitectónicas erigidas en los inigualables escenarios basálticos de la ciudad universitaria. De entrada expreso que su libro, cuya lectura es un deleite, nació para apoyar a estudiantes, profesores, obreros, investigadores, periodistas, legisladores, auditores, directivos de empresas, autoridades gubernamentales y público en general relacionado con esta rama de la ingeniería. En estas líneas narraré algunas anécdotas, quizás exageradas e increíbles, pero ciertas, que me ayudarán a mostrar la magnitud del vacío que esta obra viene a llenar.

En una ocasión me pidieron impartir un curso de ingeniería petrolera para trabajadores profesionistas no petroleros de cierta empresa. El temario que propuse no gustó y me retiraron la invitación. Esperaban que mi curso se concentrara en la descripción del equipo de perforación, pues los organizadores del evento entendían como ingeniería petrolera sólo la actividad de hacer pozos y dentro de esta consideraban primordial la operación de los equipos. Ni idea de lo que había antes del pozo, o dentro de él, ni de lo que seguía después. Querían que todo se llevara fácil, platicado y sin cálculos, o sea una especie de documental que el instructor debería narrar de viva voz.

Puesto que me pidieron un curso de *ingeniería*, pensé que lo adecuado era enfocar el tema hacia los fluidos y mostrar, con cálculos elementales, cómo se desplazan los hidrocarburos en el medio poroso, en los pozos, en las instalaciones superficiales y en los grandes ductos que los transportan hasta los puntos de venta, después de que han sido recolectados y tratados de manera preliminar en los campos petroleros, e impulsados con sistemas de bombeo en el caso del aceite y de compresión en el caso del gas. Quizás yo había exagerado en el aspecto de los fluidos, buscando ilustrar de manera fácil, pero con algunos cálculos, la ruta que siguen los hidrocarburos desde los poros de las rocas hasta las manos del cliente. Mi intención era hacer hincapié en que los hidrocarburos no pueden entenderse si uno no posee alguna familiaridad con las propiedades físicas de los fluidos y con sus variaciones derivadas de los cambios de presión y temperatura.

En la parte de perforación, daba más importancia a la densidad del lodo y al cálculo de la potencia de las bombas, que a otras cosas. Además proponía que se mencionara aunque fuera de pasada cuál es el número de pozos más conveniente

para explotar un yacimiento, lo cual requería acudir al concepto de reservas y al de productividad de pozos, aparte de tocar algunos conceptos obligados de carácter económico. Y así, como este caso, proponía otros temas que me parecían muy importantes, por ejemplo, el de la cuantificación de los recursos requeridos para alcanzar un perfil de producción dado, ya fuera a escala nacional, regional o local.

Durante las conversaciones que se tuvieron sobre este proyecto de curso, volví a lamentar que a estas alturas de la vida no dispusiéramos de un libro rigurosamente técnico, escrito por persona autorizada, que de manera sencilla hablara de la ingeniería petrolera, para que en ese libro nos apoyáramos los instructores y pudiéramos cubrir dignamente el tema, sin tener que inventar contenidos sesgados por nuestras preferencias profesionales. Estaba convencido de que no sólo los estudiantes de ingeniería petrolera necesitaban un libro así, para que conocieran el panorama completo de la carrera desde el inicio de sus estudios, sino que también lo necesitaban todas las personas relacionadas con la industria petrolera, porque el conocimiento de los aspectos básicos de este negocio es crucial para el buen desempeño de las responsabilidades.

Un trabajador petrolero radicado por años en Tabasco que en cierta ocasión se fue de vacaciones a su tierra natal, un bellissimo pueblo del Pacífico alejado de las zonas petroleras tradicionales, se encontró allá con su primo, también trabajador petrolero, pero de la refinería de esa población y tuvieron esta conversación: “¿En qué consiste tu trabajo, primo?”. “¡Trabajo en la perfo!”, le contestó el visitante, “hacemos pozos profundos”. “¿Y qué buscan con esos pozos?” “Pues buscamos yacimientos de petróleo, o sea almacenamientos naturales de petróleo en el subsuelo”. “¿Y si necesitan tanto el petróleo por qué mejor no se lo llevan de aquí y se evitan los grandes esfuerzos que me platicas?” “¡Aquí hay mucho; esos enormes tanques que ves en los patios de la refinería están atestados de petróleo!”...

Tengo que referir también que un alto funcionario gubernamental que se estrenaba como miembro del consejo de administración de Petróleos Mexicanos, estando en una junta que se llevaba a cabo en el otoño de un año ya lejano, en la que se aprobarían importantes partidas para la adquisición de equipo petrolero, dijo en voz baja al director, sentado junto a él, que no estaba de acuerdo con la propuesta costosísima de comprar árboles de navidad. “Después te explico, cuando termine la junta”, le contestó el director. Pero en el momento en que todos manifestaban su conformidad, tal consejero no se aguantó y pidió la palabra para decir que quería dejar constancia de que él no estaba de acuerdo en que se gastara tanto dinero en adornos navideños. Inútil fue el esfuerzo del director, que

le jalaba la manga del saco invitándolo a sentarse. Demasiado tarde, porque las palabras ya habían sido pronunciadas.

Recuerdo lo difícil que fue para nosotros los estudiantes de ingeniería petrolera de aquellos tiempos, ir agarrando el hilo de la profesión cuando sentíamos la necesidad de formular preguntas de concepto y por desgracia no siempre nos atrevíamos a expresar. A lo largo del tiempo arrastrábamos dudas enormes cuya aclaración dejábamos siempre para después, con la esperanza de que en las materias de los años superiores fueran aclaradas por los profesores en turno. Para algunas de ellas llegó la oportunidad de formular la pregunta, para otras nunca se presentó. Yo, en particular, vine arrastrando una duda enorme sobre el manejo de las barrenas. No comprendía cómo se le hacía para sacar por dentro del tubo la barrena desgastada e introducir una nueva, igualmente dentro de la tubería. Nunca me imaginé que para hacerlo era necesario extraer todos los tubos, uno por uno, hasta sacar el último y enroscar en éste la nueva barrena para después meter nuevamente toda la sarta, tubo por tubo, hasta alcanzar la profundidad donde se había quedado el trabajo. En aquel tiempo el curso de perforación estaba ubicado en el tercer año y me pareció una eternidad lo que tuve que esperar para resolver esta duda existencial. No fue sino hasta mi primera visita a un campo petrolero, en viaje de prácticas, cuando una madrugada calurosa y llena de mosquitos, nos llevaron a presenciar una operación y al preguntar qué estaban haciendo me contestó un modesto obrero: “estamos sacando la tubería porque hay que hacer un cambio de barrena”.

Igual me pasó con otros temas y por eso creo, sinceramente, que de haber contado con un libro como el que hoy tengo en mis manos, que Carlos Islas nos ofrece en charola de plata, me hubiera evitado vergüenzas, dolores de cabeza y desvelos inútiles. Hubiera sido mi libro de cabecera desde entonces y lo hubiera leído y consultado una y otra vez, antes, durante y después de cada ocasión crítica. Primero como estudiante, después como ingeniero en el ejercicio de la profesión y al final como consultor. No lo fue entonces, pero de aquí en adelante será siempre mi libro de cabecera. Es un libro para consultarse muchas veces por alumnos y profesores de todas las asignaturas, y por toda la gente de la industria petrolera de exploración y producción. El libro me hubiera orientado en todo; yo hubiera aprovechado mejor las materias del plan de estudios de mi carrera. Habría fortalecido mi vocación y estimulado mi imaginación.

Carlos Islas ha hecho, más que una obra literaria, una obra piadosa que quita la venda de los ojos. No tiene el alumno más que sentarse a leer para conocer los retos que le esperan y las satisfacciones que podrá lograr cuando llegue al final de la carrera. Un profesor sólo debe hojear el libro para encontrar el marco de referencia de una asignatura específica. Un jefe sólo tiene que leerlo para conocer

la ruta del entendimiento con todos sus colaboradores. El libro ayudará al trabajador de la perforación a saber qué hay antes y qué después de su trabajo. El experto en yacimientos comprenderá desde el gabinete la trascendencia de sus estudios, pero también entenderá que sacar cada barril del subsuelo es una proeza heroica que implica el despliegue de una impresionante gama de tecnologías. El ejecutivo de oficina valorará justamente a los modestos héroes anónimos que vestidos de caqui se ponen a sus órdenes en sus visitas a instalaciones petroleras. El libro no es sólo un medio de inducción a la ingeniería petrolera. Es para que lo consultemos todos los que nos dedicamos a alguna actividad dentro de esa industria. Todo tema importante está contenido ahí, perfectamente ubicado en la ruta del barril de crudo. El libro está hecho para sacar de apuros a cualquiera. De un vistazo se identifican las diversas disciplinas que intervienen en el trabajo petrolero, lo mismo que los objetivos particulares de cada especialista integrante de un equipo de trabajo. Con facilidad se identifican las relaciones entre la ingeniería petrolera y las otras especialidades que la apoyan a su alrededor. Con este libro, que describe los procesos y sus resultados, se identifican los retos y oportunidades de la ingeniería petrolera y los innumerables problemas aún sin resolverse.

A manera de resumen se puede afirmar que tener este libro en la mano es como estar ubicados en una posición privilegiada en lo alto de la montaña, que permite divisar el horizonte desde el principio hasta el final, que facilita estimar las distancias que hay que recorrer y que hace posible cuantificar los esfuerzos a realizar para alcanzar los objetivos. Carecer de él es, en cambio, transitar los múltiples senderos de un camino interminable con los ojos vendados, sin explicarse qué sigue después de cada tramo andado. Repito: todo lo que uno quiera ver, el libro lo contiene. ¿Busca equipos? El libro habla de terrestres, marinos y lacustres, y de las partes que los constituyen. ¿Quiere saber de pozos? En el libro encuentra cómo se hacen, qué tienen por dentro, por qué se dañan y cómo se reparan para que se sostengan en las mejores condiciones posibles de operación. ¿Quiere saber qué problemas se resuelven con las reparaciones menores y mayores? ¿Quiere saber cómo se formaron las rocas? ¿Quiere saber qué importancia tiene conocer la columna estratigráfica para la perforación de una región? ¿Quiere saber qué tipos de yacimientos hay, cuáles son sus características y qué se puede esperar de ellos? ¿Quiere saber qué son las reservas de hidrocarburos? ¿Quiere saber de instalaciones? ¿Quiere saber de los fenómenos que se dan entre el yacimiento, los pozos y las instalaciones?... El libro ofrece la descripción de una multiplicidad de casos que pueden hacer fracasar la operación económica de los pozos, situaciones en las que quisiéramos no caer, pero que sólo pueden ser anticipadas con la guía de un conocedor. Quien lo desee podrá ampliar posteriormente sus conocimientos en la materia de su

interés, pero ya no lo hará con los ojos cerrados; sabrá claramente para qué sirve lo que busca, a quiénes interesan los resultados y cuál es el propósito común.

Gracias por su atención y que disfruten mucho esta obra.

Luzbel Napoleón Solórzano

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

AÑO 2014

# CONTENIDO

TEMA	PÁGINA
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- LA INDUSTRIA PETROLERA	2
III.- LA INDUSTRIA DE LA EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS	5
III.1.- LA EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN PETROLERA	5
III.2.- EXPLORACIÓN PETROLERA	8
III.3.- EXPLOTACIÓN O PRODUCCIÓN PETROLERA	14
IV.- CONCEPTOS GEOLÓGICOS	16
IV.1.- HISTORIA DE LA TIERRA	16
IV.2.- ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS	23
IV.3.- CUENCAS SEDIMENTARIAS	25
IV.4.- DEFORMACIONES DE LA CORTEZA TERRESTRE	28
IV.5.- ACUMULACIONES DE HIDROCARBUROS	31
IV.6.- ROCAS SEDIMENTARIAS EN QUE SE ENCUENTRAN LOS HIDROCARBUROS	33
V.- YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS	35
V.1.- YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES	37
V.2.- YACIMIENTOS CONVENCIONALES	40
V.3.- PROPIEDADES PETROFÍSICAS DE LAS ROCAS DE LOS YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS	42
V.4.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS Y ESTADO DE ESFUERZOS EN EL SUBSUELO	48



<b>V.5.- OTRAS PROPIEDADES FLUIDO-ROCA</b>	<b>51</b>
<b>V.6.- RECURSOS PETROLEROS</b>	<b>55</b>
<b>V.7.- CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS PETROLEROS CONVENCIONALES</b>	<b>58</b>
<b>VI.- POZOS PETROLEROS</b>	<b>66</b>
<b>VI.1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>66</b>
<b>VI.2.- CONSTRUCCIÓN DE UN POZO PETROLERO</b>	<b>68</b>
<b>VI.3.- DISEÑO DE LA PERFORACIÓN</b>	<b>72</b>
<b>VI.4.- EQUIPOS DE PERFORACIÓN</b>	<b>78</b>
<b>VII.- LA TERMINACIÓN DE POZOS PETROLEROS</b>	<b>89</b>
<b>VII.1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>89</b>
<b>VII.2.- PROGRAMA GENÉRICO DE UNA TERMINACIÓN</b>	<b>90</b>
<b>VII.3.- TÉCNICAS DE LA TERMINACIÓN</b>	<b>91</b>
<b>VII.4.- DISEÑO DE LA TERMINACIÓN</b>	<b>93</b>
<b>VII.5.- EQUIPOS PARA LA TERMINACIÓN DE POZOS PETROLEROS</b>	<b>96</b>
<b>VII.6.- APAREJOS DE PRODUCCIÓN E INSTALACIONES SUPERFICIALES</b>	<b>97</b>
<b>VIII.- EL MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS</b>	<b>102</b>
<b>VIII.1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>102</b>
<b>VIII.2.- CAUSAS QUE ORIGINAN EL MANTENIMIENTO DE POZOS</b>	<b>104</b>
<b>VIII.3.- DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS EN POZOS PETROLEROS</b>	<b>119</b>
<b>VIII.4.- EQUIPOS PARA EL MANTENIMEINTO DE POZOS PETROLEROS</b>	<b>122</b>
<b>VIII.5.- PROFUNDIZACIÓN DE POZOS PETROLEROS</b>	<b>124</b>
<b>IX.- INSTALACIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS</b>	<b>125</b>

<b>IX.1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>125</b>
<b>IX.2.- PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS</b>	<b>126</b>
<b>IX.3.- INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN</b>	<b>131</b>
<b>X.- PRODUCTIVIDAD DE POZOS</b>	<b>136</b>
<b>X.1.- ANÁLISIS NODAL</b>	<b>136</b>
<b>X.2.- AFLUENCIA DE FLUIDOS DEL YACIMIENTO AL POZO</b>	<b>138</b>
<b>X.3.- PRUEBAS DE VARIACIÓN DE PRESIÓN, DAÑO A LA FORMACIÓN Y PSEUDO FACTORES DE DAÑO</b>	<b>141</b>
<b>X.4.- ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (IP) Y RELACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO (IPR)</b>	<b>145</b>
<b>X.5.- FLUJO DE FLUIDOS A TRAVÉS DE TUBERÍAS</b>	<b>148</b>
<b>XI.- ASPECTOS QUE DEBEN NORMAR LAS ACTIVIDADES PETROLERAS</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO A.- FIGURAS Y TABLAS</b>	<b>153</b>
<b>ANEXO B.- NOMENCLATURA</b>	<b>158</b>
<b>ANEXO C.- BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA</b>	<b>162</b>