

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROGRAMA DE ESTUDIO

PETROFÍSICA Y REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZO

1968

9°

11

Asignatura

Clave

Semestre

Créditos

Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Geofísica

Ingeniería Geológica

División

Departamento

Carrera(s) en que se imparte

Asignatura:

Obligatoria

Optativa

Horas:

Teóricas

Prácticas

Total (horas):

Semana

16 Semanas

Aprobado:
Consejo Técnico de la Facultad
Consejo Académico del Área de las Ciencias
Físico Matemáticas y de las Ingenierías

Fecha:
25 de febrero, 4 y 17 de marzo, y 16 de junio de 2005
12 de agosto de 2005

Modalidad: Curso

Seriación obligatoria antecedente: ninguna

Seriación obligatoria consecuente: ninguna

Objetivo(s) del curso:

El alumno conocerá y analizará las propiedades físicas de las rocas, así como los principios de medición de los registros geofísicos de pozo, para interpretarlos cualitativa y cuantitativamente y evaluar formaciones, mediante el uso de muestras directas

Temario

NÚM.	NOMBRE	HORAS
1.	Introducción	1.5
2.	Propiedades físicas de las rocas	20.0
3.	Principios de medición de propiedades físicas	23.5
4.	Interpretación cualitativa de registros geofísicos de pozo	4.5
5.	Interpretación cuantitativa de registros geofísicos de pozo	12.0
6.	Nuevas tecnologías de registros en pozo	4.5
7.	Probadores de formación	1.5
8.	Análisis de núcleos y muestras de canal	4.5
		72.0
	Prácticas de laboratorio	32.0
	Total	104.0



1 Introducción

Objetivo: El alumno conocerá los lineamientos del curso: objetivo, desarrollo, metodología, evaluación, antecedentes académicos y el programa de la asignatura

Contenido:

- 1.1 Objetivo del curso
- 1.2 Antecedentes académicos necesarios
- 1.3 Desarrollo del curso
- 1.4 Programa de la asignatura
- 1.5 Evaluación.

2 Propiedades físicas de las rocas

Objetivo: El alumno conocerá las principales propiedades y parámetros físicos de las rocas y de los fluidos saturantes, así como de los fluidos de perforación.

Contenido:

- 2.1 Petrofísica
 - 2.1.1 Porosidad y litología
 - 2.1.1.1 Tipos de porosidad y geometría del poro
 - 2.1.1.2 Superficie interna específica
 - 2.1.1.3 Tamaño del grano, clasificación y empaquetamiento
 - 2.1.1.4 Fábrica y litofacies
 - 2.1.1.5 Tipos de litologías
 - 2.1.2 Saturación de fluidos
 - 2.1.2.1 Saturación de agua, aceite y gas
 - 2.1.2.2 Tensión superficial
 - 2.1.2.3 Capilaridad
 - 2.1.2.4 Mojabilidad
 - 2.1.2.5 Agua irreducible
 - 2.1.2.6 Aceite residual
 - 2.1.2.7 Sustitución de fluidos
 - 2.1.3 Permeabilidad
 - 2.1.3.1 Absoluta, relativa y efectiva
 - 2.1.3.2 Efecto del contenido y tipo de arcilla
 - 2.1.3.3 Anisotropía en la permeabilidad
 - 2.1.4 Otras propiedades petrofísicas
- 2.2 Propiedades elásticas de las rocas
 - 2.2.1 Esfuerzo y deformación
 - 2.2.2 Módulos de elasticidad estáticos y dinámicos
 - 2.2.3 Deformaciones elástica, plástica y viscoelasticidad
 - 2.2.4 Resistencia a la compresión, tracción y flexotracción
 - 2.2.5 Estabilidad de la formación y esfuerzo in situ
 - 2.2.6 Estabilidad del pozo
 - 2.2.7 Ecuación de onda



- 2.2.8** Tipos de ondas elásticas y parámetros
 - 2.2.9** Propagación de ondas elásticas en rocas
 - 2.2.9.1** Velocidades
 - 2.2.9.2** Atenuación y dispersión de ondas elásticas
 - 2.2.9.3** Efectos de fluido
 - 2.2.9.4** Relaciones V_p - V_s
 - 2.2.10** Propagación de ondas en pozos
 - 2.2.10.1** Ondas de tubo
 - 2.2.10.2** Análisis de amplitudes de forma de onda en receptor
 - 2.2.11** Impedancia acústica y coeficientes de reflexión y transmisión
 - 2.2.12** Impedancia elástica e impedancia acústica
 - 2.2.13** Análisis de amplitud de reflexiones
 - 2.2.14** Relación entre porosidad y tiempo de tránsito (velocidad)
 - 2.2.14.1** Ecuación de Wyllie de tiempo promedio
 - 2.2.14.2** Ecuación de Nur modificado de Voigt
 - 2.2.14.3** Relaciones empíricas de compresibilidad de Geertsma
 - 2.2.14.4** Relaciones de Raymer-Hunt-Gardner
 - 2.2.14.5** Relaciones empíricas de Han y Tosaya para arenas arcillosas
 - 2.2.14.6** Relaciones empíricas de Castagna para velocidades
 - 2.2.15** Relación entre porosidad y densidad
 - 2.2.16** Relación entre densidad y velocidad
 - 2.2.17** Anisotropía elástica
- 2.3** Propiedades eléctricas y electromagnéticas de las rocas
- 2.3.1** Propiedades eléctricas de las rocas
 - 2.3.1.1** Constante dieléctrica, permitividad
 - 2.3.1.2** Resistividad y conductividad
 - 2.3.1.3** Resistividad mojada R_o
 - 2.3.1.4** Tortuosidad e índice de resistividad
 - 2.3.1.4.1** Factor de resistividad de formación y tortuosidad
 - 2.3.1.4.2** Ocurrencia natural de potenciales eléctricos
 - 2.3.1.5** Efectos de la salinidad y temperatura en la resistividad
 - 2.3.1.6** Relación entre porosidad, saturación de fluidos y resistividad
 - 2.3.1.7** Relación entre factor de formación y permeabilidad
 - 2.3.1.8** Propiedades eléctricas de las arcillas
 - 2.3.1.8.1** Características de los grupos de arcillas
 - 2.3.1.8.2** Capacidad de intercambio catiónico
 - 2.3.1.8.3** Porosidad y conductividad de las arcillas
 - 2.3.2** Propiedades magnéticas de las rocas
 - 2.3.2.1** Permeabilidad magnética
 - 2.3.2.2** Susceptibilidad magnética
 - 2.3.2.3** Magnetismo residual
 - 2.3.3** Inducción electromagnética
 - 2.3.3.1** Efecto pelicular
 - 2.3.3.2** Propagación de ondas electromagnéticas
 - 2.3.3.3** Ocurrencia natural de potenciales eléctricos
 - 2.3.3.4** Anisotropía eléctrica
- 2.4** Propiedades radiactivas de las rocas
- 2.4.1** Estados de energía y radiactividad
 - 2.4.2** Tipos de radiación



- 2.4.3 Constante de decaimiento radiactivo
- 2.4.4 Coeficiente de absorción
 - 2.4.4.1 Series radiactivas
 - 2.4.4.2 Vida media, vida promedio
 - 2.4.4.3 Unidades de medida
 - 2.4.4.4 Fuentes y detectores de radiactividad
 - 2.4.4.5 Variaciones estadísticas
 - 2.4.4.6 Interacciones de los rayos gamma y neutrones
 - 2.4.4.7 Clasificación de neutrones
 - 2.4.4.8 Sección transversal de captura y factor fotoeléctrico
 - 2.4.4.9 Resonancia magnética nuclear

- 2.5 Propiedades termodinámicas de las rocas
 - 2.5.1 Gradiente geotérmico
 - 2.5.1.1 Temperatura de formación
 - 2.5.1.2 Calor específico
 - 2.5.1.3 Conductividad térmica
 - 2.5.2 Flujo de calor y pozos con alta temperatura

- 2.6 Propiedades hidráulicas
 - 2.6.1 Flujo, difusión y filtración
 - 2.6.2 Flujo multifásico
 - 2.6.3 Flujo viscoso
 - 2.6.4 Fuerzas capilares
 - 2.6.5 Absorción e hinchamiento

- 2.7 Propiedades de los fluidos
 - 2.7.1 Fluidos saturantes de las rocas
 - 2.7.1.1 Propiedades de los líquidos
 - 2.7.1.2 Propiedades de los gases
 - 2.7.2 Fluidos de perforación

2.8 Salinidad

- 2.9 Presión del yacimiento
 - 2.9.1 Presión litostática
 - 2.9.2 Presión de columna de lodo
 - 2.9.3 Presión de poro
 - 2.9.4 Presión capilar
 - 2.9.5 Presiones anormales

3 Principios de medición de propiedades físicas

Objetivo: El alumno entenderá qué son los registros geofísicos de pozo, conocerá su importancia y las etapas durante la obtención de un registro en pozo.

Contenido:

- 3.1 Operación de registros geofísicos de pozo
 - 3.1.1 Perforación de pozos
 - 3.1.2 Medio ambiente de medición



- 3.1.2.1 Forma y diámetro de pozo
 - 3.1.2.2 Invasión de la formación
 - 3.1.2.3 Propiedades del lodo, filtrado y enjarre
 - 3.1.2.4 Perfil de resistividad por invasión
 - 3.1.3 Definición de registros geofísicos de pozo
 - 3.1.4 Importancia, propósito y uso de los registros geofísicos de pozo
 - 3.1.5 Historia y clasificación de los registros geofísicos de pozo
 - 3.1.6 Etapas en un estudio con registros geofísicos de pozo
 - 3.1.6.1 Selección de los registros
 - 3.1.6.2 Equipo de superficie y de fondo
 - 3.1.6.3 Control de calidad
 - 3.1.6.4 Edición y presentación de la información
 - 3.1.6.5 Corrección de la información
 - 3.1.6.6 Curvas calculadas y procesamiento de registros
 - 3.1.6.7 Interpretación geofísica-geológica
 - 3.1.7 Profundidad de investigación de las herramientas y resolución vertical
- 3.2 Registro de diámetro de pozo
- 3.3 Registros de correlación
 - 3.3.1 Potencial natural
 - 3.3.1.1 Origen del potencial natural
 - 3.3.1.2 Potencial teórico (SSP) y medido (SP)
 - 3.3.1.3 Registro SP
 - 3.3.1.4 Correcciones por espesor de capa e invasión
 - 3.3.1.5 Determinación de la resistividad del agua de formación
 - 3.3.1.6 Carácter y forma de la deflexión de la curva
 - 3.3.2 Rayos gamma naturales
 - 3.3.2.1 Fuentes de radiactividad natural
 - 3.3.2.2 Velocidad de registro
 - 3.3.2.3 Corrección por peso del lodo
 - 3.3.2.4 Aplicaciones del registro
 - 3.3.3 Espectroscopia de rayos gamma naturales
 - 3.3.3.1 Presentación del registro
 - 3.3.3.2 Aplicaciones del registro
- 3.4 Registros de resistividad
 - 3.4.1 Resistividad aparente
 - 3.4.2 Registro eléctrico convencional
 - 3.4.3 Dispositivos de corriente enfocados
 - 3.4.3.1 Investigación media
 - 3.4.3.2 Investigación profunda
 - 3.4.4 Microregistros de resistividad
 - 3.4.5 Dispositivos de inducción
 - 3.4.5.1 Factor geométrico
 - 3.4.6 Corrección por espesor de capa y diámetro de pozo
 - 3.4.7 Determinación de las resistividades verdadera, de la zona lavada y diámetro de invasión
 - 3.4.7.1 Gráficas de torbellino
 - 3.4.7.2 Método analítico
 - 3.4.8 Descripción de inversión de registros de resistividad



3.5 Registros de propagación electromagnética

3.6 Registros de porosidad

3.6.1 Registro sísmico

3.6.1.1 Registro de formas de onda en receptor

3.6.1.2 Sísmico de porosidad

3.6.1.3 Sísmico de cementación

3.6.1.4 Sísmico dipolar

3.6.1.5 Aplicaciones del registro

3.6.2 Registro de densidad

3.6.2.1 Medición de la densidad

3.6.2.2 Densidad compensada por enjarre

3.6.2.3 Litodensidad

3.6.2.4 Aplicaciones del registro

3.6.3 Registro de neutrones

3.6.3.1 Medición del índice de hidrógeno

3.6.3.2 Neutrón-gamma

3.6.3.3 Neutrón de pared

3.6.3.4 Neutrón compensado

3.6.3.5 Neutrón epitermal

3.6.3.6 Tiempo de decaimiento termal

3.6.3.7 Saturación del yacimiento (RST)

3.6.3.8 Correcciones ambientales

3.6.4 Doble porosidad (densidad-neutrón)

3.6.5 Determinación de la porosidad total y litología

3.7 Registro de resonancia magnética nuclear

3.8 Registro de echados

3.8.1 Medición de echados de alta resolución

3.8.2 Medición de echado estratigráfico

3.8.3 Aplicaciones del registro de echados

3.8.3.1 Interpretación de paleoambientes de depósito

4 Interpretación cualitativa de registros geofísicos de pozo

Objetivo: El alumno conocerá las técnicas de interpretación cualitativa de registros geofísicos de pozo y las aplicará en casos reales.

Contenido:

4.1 Técnicas convencionales de interpretación

4.1.1 Normalización de curvas de registro

4.1.2 Interpretación cualitativa de las curvas de registro

4.1.3 Porosidad de corte

4.1.4 Saturación de corte

4.1.5 Saturación de agua

4.1.6 Saturación de hidrocarburos

4.1.7 Saturación de aceite móvil

4.1.8 Cálculo de hidrocarburos recuperables



4.2 Técnicas de interpretación rápida

- 4.2.1 Método Rwa
- 4.2.2 Método Rxo/Rt
- 4.2.3 Registro Ro
- 4.2.4 Métodos MOP

5 Interpretación cuantitativa de registros geofísicos de pozo

Objetivo: El alumno conocerá los métodos de interpretación cuantitativa de registros geofísicos de pozo y los aplicará en casos reales

Contenido:

5.1 Interpretación en formaciones limpias

- 5.1.1 Ecuaciones de Archie
- 5.1.2 Gráfica cruzada porosidad lineal vs. resistividad-no lineal (Hingle)
- 5.1.3 Gráfica cruzada Log Rt vs. Log Φ (Aguilera-Pickett)
- 5.1.4 Gráficas de telaraña

5.2 Interpretación en litologías complejas

- 5.2.1 Determinación de litología y porosidad con dos herramientas de porosidad
- 5.2.2 Determinación de litología y porosidad con tres herramientas de porosidad
- 5.2.3 Descripción de métodos geoestadísticos y redes neuronales
- 5.2.4 Determinación de minerales
 - 5.2.4.1 Métodos gráficos
 - 5.2.4.2 Sistemas de ecuaciones

5.3 Interpretación en formaciones arcillosas

- 5.3.1 Cálculo de índice de arcillosidad y volumen de arcilla
- 5.3.2 Efecto de la arcilla en registros de porosidad
- 5.3.3 Gráficas cruzadas en formaciones arcillosas
- 5.3.4 Determinación de porosidad efectiva y saturación de agua
 - 5.3.4.1 Métodos antiguos
 - 5.3.4.2 Simandoux
 - 5.3.4.3 Fertl-Hammack
 - 5.3.4.4 Waxman-Smits
 - 5.3.4.5 Doble agua
 - 5.3.4.6 Indonesia
 - 5.3.4.7 Métodos no lineales

5.4 Interpretación en formaciones con gas

- 5.4.1 Efecto del gas en los registros de porosidad
- 5.4.2 Detección de gas por superposición de curvas de registros de porosidad
- 5.4.3 Gráficas cruzadas en formaciones con gas
- 5.4.4 Determinación de porosidad y saturaciones en formaciones con gas
- 5.4.5 Formaciones arcillosas con gas

5.5 Descripción de técnicas de inversión de registros geofísicos de pozo



5.6 Evaluación petrofísica de formaciones

- 5.6.1** Integración de datos de muestras de canal, núcleos, registros, perfil sísmico vertical y sísmica
- 5.6.2** Determinación de litología y porosidad
- 5.6.3** Determinación de tipos y volúmenes de fluidos
- 5.6.4** Identificación de fracturas y cuantificación
- 5.6.5** Predicción de la permeabilidad
- 5.6.6** Modelo petrofísico integrado 3D
- 5.6.7** Predicción de producibilidad
- 5.6.8** Estimación de volumen de hidrocarburos y reservas
- 5.6.9** Descripción de caracterización estática y dinámica del yacimiento

6 Nuevas tecnologías de registros en pozo

Objetivo: El alumno conocerá las nuevas tecnologías desarrolladas en registros geofísicos de pozo.

Contenido:

- 6.1** Registros geofísicos de imágenes de pozo
 - 6.1.1** Imágenes de resistividad
 - 6.1.1.1** Microscanner
 - 6.1.1.2** Azimutal
 - 6.1.1.3** Arreglo de inducción
 - 6.1.1.4** En lodos base aceite
 - 6.1.2** Imágenes acústicas
 - 6.1.2.1** Ultrasónico
 - 6.1.2.2** Evaluación de corrosión de tubería
- 6.2** Mediciones (MWD) y registros (LWD) durante la perforación
- 6.3** Monitoreo del yacimiento en tiempo real con registros geofísicos

7 Probadores de formación

Objetivo: El alumno conocerá e identificará la información proporcionada por los probadores de formación en pozo y su utilidad.

Contenido:

- 7.1** Multiprobadores de formación
- 7.2** Pruebas de producción
- 7.3** Registros de producción

8 Análisis de núcleos y muestras de canal

Objetivo: El alumno conocerá y aprenderá la forma de medir propiedades físicas en los núcleos y muestras de canal.

Contenido:

- 8.1** Registro de hidrocarburos
- 8.2** Clasificación de muestras de canal
- 8.3** Recuperación de núcleos y preparación de muestras



- 8.4 Muestreadores de núcleos de pared
- 8.5 Medición de propiedades físicas en núcleos y tapones
- 8.6 Descripción de análisis especial avanzado de núcleos
 - 8.6.1 Presión capilar
 - 8.6.2 HPMI, correcciones y uso
 - 8.6.3 Centrífuga, procedimientos y datos
 - 8.6.4 A-Salmuera, procedimientos, opciones y estimación de duración de prueba
 - 8.6.5 Inyección de mercurio convencional
 - 8.6.6 Porosímetro de inyección de mercurio de alta presión
 - 8.6.7 Métodos Leverett modificado y empírico
 - 8.6.8 Tensión interfacial
 - 8.6.9 Mojabilidad
 - 8.6.10 Permeabilidad relativa
 - 8.6.11 Determinación de saturación USS
 - 8.6.12 Plug SS individual y compuesto
 - 8.6.13 Mineralogía FTIR y XRD
 - 8.6.14 Análisis de tamaño de grano con láser
 - 8.6.15 Análisis de transformada de Fourier de infrarrojo para mineralogía (FTIR)
 - 8.6.16 Difracción de rayos X en arcillas
 - 8.6.17 Resonancia magnética nuclear
 - 8.6.18 Scann CT
 - 8.6.19 Imágenes fluoroscópicas
- 8.7 Mediciones en condiciones PVT de formación
- 8.8 Análisis de láminas delgadas

Bibliografía básica:

ARROYO CARRASCO, F. A.
Bases Teóricas de la Interpretación de Registros Geofísicos de Pozos
 México
 Facultad de Ingeniería, UNAM, 1985

BASSIOUNI, Z.
Theory, Measurement and Interpretation of Well Logs
 Tulsa, OK
 SPE Textbook Series 4, 1994

DEWAN, J.T.
Essentials of Modern Openhole Log Interpretation
 PennWell Publishing Company
 Tulsa, OK, 1983

HEARST, J.R. y NELSON, P.H. y PAILLET, F.T.
Well Logging for Physical Properties
 New York
 McGraw Hill Book Company, 1985



Bibliografía Complementaria:

BATEMAN, R.M.
Open-Hole Log Analysis and Formation Evaluation
Boston
International Human Resources Development Corporation, 1985

COATES, G.L. et al
NMR Logging. Principles and Applications
Halliburton Energy Services – Gulf Publishing Company
1999

ELLIS, D.W.
Well Logging for Earth Scientists
Elsevier
Amsterdam, 1987

GRAIN, E.R.
Log Analysis Handbook
Tulsa
Penn Well Publishing Company, 1986

HELANDER, D.P.
Fundamentals of Formation Evaluation
Tulsa
OGCI Publications, 1992

MAVKO, G. et al
The Rock Physics Handbook
Cambridge
Cambridge University Press, 1998

PAILLET, F.L. y CHENG, C.H.
Acoustic Waves in Boreholes
New York
CRC Press, Inc., 1991

PIRSON, S.J.
Geologic Well Log Analysis
Gulf Publishing Company, 1977

SCHLUMBERGER
Principios/Aplicaciones de la Interpretación de Registros
México
Schlumberger, 1989



SCHLUMBERGER

Log Interpretation Charts

Schlumberger Educational Services

1972, 1979, 1985, 1989, 2000

SPWLA

Borehole Imaging

SPWLA Reprint Series, 1990

SPWLA

Measurement While Drilling

SPWLA Reprint Series, 1993

Sugerencias didácticas:

Exposición oral

Exposición audiovisual

Ejercicios dentro de clase

Ejercicios fuera del aula

Seminarios

Lecturas obligatorias

Trabajos de investigación

Prácticas de taller o laboratorio

Prácticas de campo

Otras:

Forma de evaluar:

Exámenes parciales

Exámenes finales

Trabajos y tareas fuera del aula

Participación en clase

Asistencias a prácticas

Otras: Trabajo de investigación bibliográfica

Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura

Profesionales en el área de Petrofísica y Registros Geofísicos de Pozo.

Formación Académica:

Licenciatura en Ingeniería Geofísica

Posgrado en Exploración Geofísica

Experiencia Profesional:

Experiencia en Petrofísica y Registros Geofísicos de Pozo

Especialidad:

Petrofísica y Registros Geofísicos de Pozo

Conocimientos específicos:

Adquisición e interpretación de Registros Geofísicos de Pozo

Aptitudes y actitudes:

Alta motivación hacia la enseñanza-aprendizaje

Alta capacidad de abstracción en Física y Matemáticas