



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Registros de Pozos Aplicados a la Geotermia.

TRABAJO ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOFISICO
PRESENTAN:
IGNACIO PEREZNEGRON ZARCO
ROBERTO CAZARES ROBLES



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-211

Señores CAZARES ROBLES ROBERTO Y
PEREZ NEGRON ZARCO IGNACIO.

P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. Ing.- F. Alejandro Arroyo Carrasco, para que lo desarrollen como - - tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO - - GEOFISICO.

"REGISTROS DE POZOS APLICADOS A LA GEOTERMIA"

- RESUMEN.
INTRODUCCION.
I CLASIFICACION DE LOS YACIMIENTOS
GEOTERMICOS.
II REGISTROS DE POZOS UTILIZADOS EN
LA GEOTERMIA.
III OBTENCION DE PARAMETROS GEOTERMICOS.
IV INTERPRETACION.
CONCLUSIONES.
BIBLIOGRAFIA.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., a 25 de septiembre de 1986.

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

du
OARCH'GCLV'gtg

INDICE

	PÁG.
RESUMEN	
INTRODUCCION	1
I. CLASIFICACION DE LOS YACIMIENTOS GEOTERMICOS	
I.1 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL TIPO DE LITOLÓGIA	13
I.2 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL TIPO DE FLUIDO Y TEMPERATURA	16
I.3 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA QUÍMICA DEL FLUI DO	22
I.4 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA GEOMETRÍA DEL -- PORO	29
II. REGISTROS DE POZOS UTILIZADOS EN LA GEOTERMIA	
II.1 EN PZOS SIN REVESTIMIENTO	35
A) REGISTRO DOBLE DE INDUCCIÓN (DIL)	35
B) REGISTRO DE LITO-DENSIDAD (LTD)	36
C) REGISTRO SÓNICO COMPENSADO (BHC)	37
D) REGISTRO DE ESPECTROMETRIA DE RAYOS GAMMA NATURALES (NGT)	38
E) MEDIDOR DE ECHADOS	39
II.2 EN POZOS ENTUBADOS	39
A) EL REGISTRO DE NEUTRONES (CNL)	40
B) EL REGISTRO DE TIEMPO DE DECAIMIENTO TER MICO (TDT)	40
C) REGISTRO DE ESPECTROMETRIA GAMMA (GST)	41
D) REGISTRO MULTIPROBADOR DE FORMACIONES -- (CH-RFT)	42

	PÁG.
E) REGISTRO DE EVALUACIÓN DE LA CEMENTA- CIÓN (CET)	43
F) REGISTRO DE ANÁLISIS DE TUBERIA (PAL),	43
G) REGISTRO DE PRODUCCIÓN(PLT)	44
II.3 REGISTRO SÓNICO DE CEMENTACIÓN	47
II.3.1 INTERPRETACIÓN	54
III. OBTENCION DE PARAMETROS GEOTERMICOS	
III.1 ANÁLISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS DE PRE-- SIÓN EN POZOS GEOTÉRMICOS	67
III.2 ANÁLISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS PARA PO- ZOS DE VAPOR	73
III.3 ANÁLISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS PARA PO- ZOS DE AGUA CALIENTE	79
III.4 FACTOR DE RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN, .	81
III.4.1 LEY DE ARCHIE PARA DIFERENTES -- TIPOS DE ROCAS	85
IV. INTEPRETACIÓN	
IV.1 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	92
IV.2 FRACTURAS	93
IV.3 REGISTROS NUCLEARES	103
IV.4 REGISTROS ACÚSTICOS	107
IV.5 REGISTROS ELÉCTRICOS	109
IV.6 REGISTROS CALIPER	111
IV.7 REGISTRADORES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA -- KUSTER	113
CONCLUSIONES	114
BIBLIOGRAFIA	

RESUMEN

EL OBJETIVO DE ESTA TESIS ES EL DE DAR A CONOCER LA GRAN IMPORTANCIA QUE PRESENTAN LOS REGISTROS GEOFISICOS DE POZOS EN LA OBTENCIÓN DE PARAMETROS "IN SITU" DE LAS ROCAS PERFORADAS DURANTE EL DESARROLLO Y EXPLOTACIÓN DE UN POZO GEOTÉRMICO.

SE PRESENTA UNA CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL ANÁLISIS DE REGISTROS DE POZOS O TENIENDO COMO REFERENCIA LAS RESPUESTAS DE LOS MISMOS.

SE ENUMERAN LAS HERRAMIENTAS MÁS COMUNMENTE UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA GEOTERMICA, ASÍ COMO LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN, TALES COMO: DIÁMETRO DEL AGUJERO, PRESIÓN, TEMPERATURA, TIPO DE LODO, ETC. ADEMÁS SE PRESENTA EL OBJETIVO BÁSICO QUE TIENE CADA UNA DE ELLAS. SE DESARROLLA MÁS AMPLIAMENTE UN REGISTRO MUY IMPORTANTE EN GEOTERMIA, EL REGISTRO SONICO DE CEMENTACIÓN, EL CUAL NOS PROPORCIONA, ENTRE OTRAS COSAS, EL ESPESOR Y VIDA PROMEDIO DEL CEMENTO, ASÍ COMO LAS ZONAS QUE NO ESTAN CEMENTADAS.

SE DISCUTE UNA TÉCNICA DE ANÁLISIS UTILIZADA COMUNEMENTE PARA EVALUAR LOS DATOS DE CAMPO. ESTA TÉCNICA ES "ANÁLISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS DE PRESIÓN". SE DA A CONOCER EL FACTOR

DE RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ROCAS.

SE DESCRIBE EL COMPORTAMIENTO DE LOS DIVERSOS TIPOS - DE REGISTROS AL ENCONTRARSE CON UNA ZONA MUY FRACTURADA, ALTERADA HIDROTHERMALMENTE, ALTAMENTE RADIOACTIVA, CABERNOSA, FLUJOS HIDROTÉRMICOS, ETC.

INTRODUCCION

UN REGISTRO GEOFÍSICO DE POZO ES LA REPRESENTACIÓN -- ANALÓGICA-DIGITAL DE LAS DIFERENTES PROPIEDADES PETROFÍSICAS - DE LAS ROCAS CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD.

EL DESARROLLO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS REGISTROS - GEOFÍSICOS EN POZOS GEOTÉRMICOS SE ENCUENTRA AÚN EN UNA ETAPA TEMPRANA DE SU EVOLUCIÓN. EN LA EXPLORACIÓN PETROLERA EL USO DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS HA SIDO DE UN VALOR INCALCULABLE EN LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS. SE CREE QUE EN LA EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA UNA VEZ QUE SE HAYA ADQUIRIDO MAYOR EXPERIENCIA, LA APLICACIÓN DE LOS REGISTROS DE POZOS PUEDE SER DE GRAN UTILIDAD. CERRO PRIETO EN B.C.N. Y LOS AZUFRES EN MICH. OFRECEN UNA EXCELENTE OPORTUNIDAD PARA COMPROBAR LA PRECISIÓN Y UTILIDAD DE LOS REGISTROS DE POZOS DEBIDO A LA GRAN CANTIDAD DE DATOS (GEOFÍSICOS, GEOQUÍMICOS Y MINERALÓGICOS) OBTENIDOS - DE LAS PERFORACIONES.

PARA PODER DESARROLLAR EFICIENTEMENTE UN CAMPO GEOTÉRMICO SE TENDRÁ QUE ESTIMAR CON BASTANTE PRECISIÓN LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS, LA EXTENSIÓN DEL YACIMIENTO, Y LAS CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DE LA POROSIDAD, PERMEABILIDAD Y FLUJO DE FLUIDOS. LOS ESTUDIOS MINERALÓGICOS PUEDEN SER DE GRAN UTILIDAD PARA DETERMINAR ESTOS PARAMETROS. SIN EMBARGO, LOS ESTUDIOS MINERALÓGICOS PUEDEN SER MUY COSTOSOS Y TOMAR MUCHO -

TIEMPO, ADEMÁS LAS MUESTRAS SE ANALIZAN EN CONDICIONES AMBIENTALES. CONTRARIAMENTE SUCEDE EN LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS, SON RELATIVAMENTE BARATOS, SE OBTIENEN CON RÁPIDEZ, Y DAN UN REGISTRO CONTINUO DE LOS PARAMETROS DENTRO DEL POZO.

A PARTIR DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS CON LA AYUDA DEL ANÁLISIS DE NUCLEOS, GEOLOGÍA REGIONAL, GEOLOGÍA LOCAL, GEOLOGÍA ESTRUCTURAL, TECTÓNICA, Y LOS DIFERENTES MÉTODOS GEOFÍSICOS SE PUEDE OBTENER:

- LITOLOGÍA (PROFUNDIDAD Y ESPESOR DE LA FORMACIÓN)
- POROSIDAD (PRIMARIA Y SECUNDARIA)
- PERMEABILIDAD (ABSOLUTA Y RELATIVA)
- SALINIDAD DEL AGUA DE LA FORMACIÓN
- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FLUIDO
- TEMPERATURA DEL YACIMIENTO
- ZONAS ALTERADAS HIDROTERMALMENTE
- CANTIDAD DE FRACTURAS
- CANTIDAD Y CALIDAD DE LOS FLUIDOS PRODUCIDOS
- ESPACIO INTERGRANULAR
- GEOMETRIA DEL POZO
- TIPO DE ROCA
- TAMAÑO DEL YACIMIENTO
- TIEMPO DE TRANSITO DE LAS ROCAS
- INCLINACIÓN DEL PAQUETE ROCOSO (R. SEDIMENTARIAS)
- MÓDULOS ELÁSTICOS DE LAS ROCAS
- ETC.

EXISTEN PRINCIPALMENTE DOS LIMITACIONES PARA LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS GEOTÉRMICOS SIENDO ÉSTAS LAS ALTAS TEMPERATURAS QUE SE ALCANZAN EN ESTOS YACIMIENTOS Y EL DESCONOCIMIENTO DEL TIPO DE RESPUESTA QUE DAN LAS ROCAS GEOTÉRMICAS - (IGNEAS Y METAMORFICAS), YA QUE LAS HERRAMIENTAS ESTAN DISEÑADAS Y CALIBRADAS EN LA INDUSTRIA PETROLERA PARA ROCAS SEDIMENTARIAS.

EL TÉRMINO GEOTERMÍA, INVOLUCRA EN EL SENTIDO AMPLIO, EL CALOR NATURAL EXISTENTE EN LA TIERRA, INDEPENDIENTEMENTE DE LOS FACTORES QUE LO PRODUCEN O DE LOS FENÓMENOS QUE OCASIONAN SU EXPRESIÓN SUPERFICIAL. EL CALOR SE TRANSMITE POR CONDUCCIÓN DIRECTA O BIEN POR EL TRANSPORTE DE FLUIDOS A TRAVÉS DE FRACTURAS, CREANDO ACUMULACIONES QUE CONSTITUYEN LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS. UN SISTEMA GEOTÉRMICO SE DEFINE COMO EL CONJUNTO INTEGRADO POR UNA FUENTE DE CALOR, UN FLUIDO Y UNA ZONA CORTICAL EN DONDE SE ALMACENA O CIRCULA EL FLUIDO.

PARA QUE UNA ZONA TERMAL PUEDA CONSIDERARSE COMO CAMPO GEOTÉRMICO, SE REQUIERE QUE SU EXPLOTACIÓN SEA RENTABLE.

MUCHAS ZONAS TERMALES ESTÁN RELACIONADAS CON LA PRESENCIA DE CÁMARAS MAGMÁTICAS A PROFUNDIDAD, LAS QUE TAMBIÉN DAN ORIGEN AL FENÓMENO DEL VULCANISMO. MÉXICO ES TIERRA, CON MÁS DE 300 APARATOS VOLCÁNICOS UBICADOS PRINCIPALMENTE EN LA ZONA CENTRAL DE NUESTRO PAÍS, EN DONDE PRECISAMENTE SE LOCALIZA LA -

MAYOR CANTIDAD DE MANIFESTACIONES TERMALES, SIN QUE DEJEN DE TENER IMPORTANCIA LAS EXISTENTES EN BAJA CALIFORNIA Y EN EL SURESTE DEL PAÍS.

SE CONOCE QUE LA TEMPERATURA DE LA TIERRA SE INCREMENTA CON LA PROFUNDIDAD A LA RELACIÓN DE $30^{\circ}\text{C}/\text{Km.}$, LA CUAL CORRESPONDE A CUENCAS SEDIMENTARIAS Y SE CONOCE COMO GRADIENTE GEOTÉRMICO DEL PLANETA. ES OBVIO QUE EN ZONAS DE MAYOR FLUJO TÉRMICO, ZONAS VOLCÁNICAS Y ESTRUCTURAS ACTIVAS, SE TENDRÁ MAYOR GRADIENTE GEOTÉRMICO (MAYOR DE $30^{\circ}\text{C}/\text{Km.}$). A ESTAS ZONAS SE LES CONSIDERA COMO DE ANOMALIA TÉRMICA.

EN 1965, WHITE CALCULÓ QUE LA CANTIDAD DE VALOR GEOTÉRMICO DISPONIBLE A LOS 10 KMS. DE PROFUNDIDAD DE LA CORTEZA TERRESTRE, ES DE APROXIMADAMENTE 3×10^{26} CALORÍAS, EL CUAL REPRESENTA MÁS DE 2000 VECES EL CALOR QUE GENERARÍA EL TOTAL DE LAS FUENTES DE CARBÓN EXISTENTES EN EL MUNDO. HAY QUE TOMAR EN CUENTA QUE AL MOMENTO DE QUERER RECUPERAR EL CALOR GEOTÉRMICO, NO SE LOGRA EL 100% DE EFECTIVIDAD, POR LO QUE ESTA CANTIDAD NO SE PUEDE CONSIDERAR COMO ENERGÍA GEOTÉRMICA. DE CUALQUIER MANERA, EN NINGÚN YACIMIENTO, LLÁMESE PETROLERO, DE CARBÓN O DE CUALQUIER OTRO MINERAL SE PUEDE RECUPERAR EL 100% DE LAS RESERVAS.

ACTUALMENTE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA QUE PUEDE SER RECUPERADA ES AQUELLA DONDE EL CALOR HA SIDO ACUMULADO EN VOLÚMENES -

RESTRINGIDOS, DE MANERA ANÁLOGA A LAS CONCENTRACIONES DE METAL EN LOS YACIMIENTOS MINERALES O A LOS YACIMIENTOS PETROLEROS. EN NUESTRO TIEMPO, SON SIGNIFICANTES LAS CONCENTRACIONES DE -- ENERGÍA GEOTÉRMICA DONDE LA TEMPERATURA ALCANZA VALORES DE 180 320 °C. A PROFUNDIDADES MENORES DE 3000 M. Y QUE SE ENCUENTRA ALMACENADO EN ROCAS PERMEABLES CON UNA FASE DE VAPOR O AGUA CALIENTE PRESENTE, ESTAS FASES SON LOS MEDIOS POR EL CUAL EL CALOR SE TRANSMITE DEL YACIMIENTO AL POZO Y POR MEDIO DE ÉSTE SALE A LA SUPERFICIE DONDE ES APROVECHADO.

AÚN NO SON ECONÓMICOS LOS ACUÍFEROS TERMALES QUE AUNQUE TENGAN ALTA TEMPERATURA, NO CONTIENEN SUFICIENTE PERMEABILIDAD PARA LOGRAR UNA BUENA CIRCULACIÓN DE LAS FASES FLUIDAS, SIN EMBARGO SE CREE QUE PUEDEN SER ACUÍFEROS TERMALES POTENCIALES - CONFORME AVANCE LA TECNOLOGÍA DE INYECCIÓN Y FRACTURAMIENTO INDUCIDO A PROFUNDIDAD.

PARA LA FORMACIÓN DE UN ACUÍFERO TERMAL SE REQUIERE DE LA EXISTENCIA DE RASGOS GEOLÓGICOS-HIDROLÓGICOS, ESTRUCTURALES Y TECTÓNICOS ADECUADOS PARA QUE SE PUEDA TENER LA ACUMULACIÓN DE CALOR EN LOS ACUÍFEROS CERCANOS A LA SUPERFICIE, DE ESTA MANERA SE JUSTIFICA LA IMPORTANCIA DE EFECTUAR ESTUDIOS DE GEOLOGÍA REGIONAL, GEOLOGÍA LOCAL, GEOLOGÍA ESTRUCTURAL, TECTÓNICA, GEOHIDROLÓGICA, GEOQUÍMICA Y GEOFÍSICA DE UNA MANERA ORDENADA Y SISTEMÁTICA, DÁNDOLE A CADA UNA DE LAS ETAPAS EXPLORATORIAS EL LUGAR MÁS ADECUADO PARA UTILIZAR RECURSOS ECONÓMICOS Y REDUCIR

AL MÁXIMO LAS FALLAS QUE PUEDEN EFECTUARSE DURANTE LA PERFORACIÓN, YA QUE ESTA ÚLTIMA ETAPA ES DE LAS MÁS COSTOSAS EN LA EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA, PUES ALCANZA MÁS DEL 60% DEL COSTO FINAL.

LA CRISIS ENERGÉTICA ACTUAL Y LA NECESIDAD DE CONSERVAR LAS FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLES COMO LOS HIDROCARBUROS, HAN IMPULSADO A LA EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LAS FUENTES ALTERNAS COMO LA GEOTERMÍA; LA EXCELENTE DEMOSTRACIÓN DE RENTABILIDAD Y FUNCIONAMIENTO QUE HA DADO LA PLANTA GEOTÉRMICA DE CERRO PRIETO, B.C., SUPERA EN MUCHO A OTRAS QUE FUNCIONAN MEDIANTE OTROS ENERGÉTICOS.

CAPITULO I

CLASIFICACION DE LOS YACIMIENTOS GEOTERMICOS

ES POSIBLE ENCONTRAR LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN VARIAS FORMAS EN LA NATURALEZA SIENDO LAS PRINCIPALES LOS YACIMIENTOS DE VAPOR, YACIMIENTOS DE AGUA CALIENTE, SISTEMAS GEOPRESURADOS Y EN FORMACIONES COMPUESTAS POR ROCA SECA MUY CALIENTE. CADA UNA DE ESTAS FORMAS PRESENTA POTENCIAL PARA SU EXPLOTACIÓN, PERO LOS YACIMIENTOS DE VAPOR OFRECEN LAS MEJORES CARACTERÍSTICAS PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.

DENTRO DE LOS REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA PODER APROVECHAR UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO SE DEBEN DE CUMPLIR LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:

- A) LA TEMPERATURA DEBE SER MAYOR O IGUAL A 200 °C.
- B) ESTAR LOCALIZADO A UNA PROFUNDIDAD NO MAYOR DE 3000 METROS,
- C) CONTENER FLUIDOS EN CANTIDADES SUFICIENTES PARA TRANSMITIR EL CALOR A LA SUPERFICIE HASTA LA PLANTA GEOTERMOELÉCTRICA.

- D) UN VOLUMEN DEL YACIMIENTO ADECUADO (MAYOR DE - -
5000 M³).
- E) UNA PERMEABILIDAD QUE PERMITA UN FLUJO ACEPTABLE -
DE FLUIDOS,
- F) LA PRESIÓN DEL VAPOR EN LA SUPERFICIE DEBE SER MA-
YOR DE 7 KG/CM², DADO QUE ES LA PRESIÓN MÍNIMA A -
LA QUE OPERAN LA MAYOR PARTE DE LAS TURBINAS ACTUA
LES.

LOS YACIMIENTOS DE VAPOR SON LOS QUE SE BUSCAN CON MA-
YOR ÉNFASIS DEBIDO A QUE EL VAPOR ES UNA FUENTE DE ENERGÍA BAS-
TANTE LIMPIA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE CONTAMINACIÓN Y CON PO-
COS PROBLEMAS DE PRODUCCIÓN.

EN LOS YACIMIENTOS DE AGUA CALIENTE, LA FASE PREDOMI--
NANTE O CONTINUA ES EL AGUA, Y EL VAPOR, EN CASO DE EXISTIR, SE
ENCUENTRAN EN FORMA AISLADA EN LAS ZONAS DE BAJA PRESIÓN. UNA
DIFICULTAD CON RESPECTO AL FLUJO EN ESTE TIPO DE YACIMIENTOS ES
CUANDO SE ALCANZAN CONDICIONES DE FLUJO EN DOS FASES (AGUA Y VA
POR), PROVOCANDO UNA POSIBLE DEPOSITACIÓN DE SALES QUE ORIGINAL
MENTE SE ENCONTRABAN DISUELTAS EN EL AGUA CALIENTE, LO CUAL PRO
DUCE UNA DISMINUCIÓN EN LAS CONDICIONES ORIGINALES DE PERMEABI-
LIDAD.

UN PUNTO MUY IMPORTANTE EN CUANTO A LA PRODUCCIÓN DE -
ELECTRICIDAD A PARTIR DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA ES EL ESTADO DE
LOS DIVERSOS SISTEMAS (YACIMIENTOS) GEOTÉRMICOS EN RELACIÓN A -
LA TECNOLOGÍA, PROBLEMAS ECOLÓGICOS Y EL NO MENOS IMPORTANTE --
FACTOR ECONÓMICO.

LA TABLA I PRESENTA ESTE TIPO DE DATOS PARA LOS DIFE--
RENTES SISTEMAS GEOTÉRMICOS.

TABLA I
ESTADO ACTUAL DE LOS SISTEMAS (YACIMIENTOS) GEOTERMICOS

SITUACION SISTEMA	TECNOLOGIA	PROBLEMAS ECOLOGICOS	ASPECTOS ECONOMICOS	RESERVAS
VAPOR	ESTABLECIDA	MINIMOS	ATRACTIVO	LIMITADA
AGUA CALIENTE	ESTABLECIDA PARCIALMENTE	POTENCIALMENTE GRANDES	CONOCIDO PARCIALMENTE	LIMITADA PERO SIGNIFICANTE EN ALGUNOS PAISES
ROCA SECA	PRACTICAMENTE NO EXISTE	DESCONOCIDO	DESCONOCIDO	POTENCIALMENTE GRANDES
GEOPRESURIZADOS	PRACTICAMENTE NO EXISTE	DESCONOCIDO	DESCONOCIDO	DE IMPORTANCIA LOCAL

LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS PUEDEN CLASIFICARSE DE -- ACUERDO A LA LOCALIZACIÓN DE SU TEMPERATURA Y PRESIÓN INICIAL -- CON RESPECTO A UN DIAGRAMA DE PRESIÓN-TEMPERATURA PARA EL AGUA.

LA FIGURA I-1 MUESTRA UN DIAGRAMA DE ESTE TIPO, MOSTRANDO EL PUNTO CRÍTICO DEL AGUA Y OTROS CINCO PUNTOS QUE REPRESENTAN POSIBLES CONDICIONES INICIALES PARA UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO. EN EL CASO DE SISTEMAS DE AGUA CALIENTE, LA CURVA DE SATURACIÓN DEBE CORRESPONDER A UNA SALMUERA DE COMPOSICIÓN IGUAL A LA DEL YACIMIENTO. SE SUPONDRÁ EL CASO MÁS SIMPLE DE UN SISTEMA CERRADO PARA EL SIGUIENTE ANÁLISIS.

EL PUNTO A CORRESPONDE A UN YACIMIENTO CUYAS CONDICIONES INICIALES SE LOCALIZAN EN LA FASE VAPOR. EL PROCESO DE PRODUCCIÓN CAUSADO POR LA EXPANSIÓN DEL VAPOR ES APROXIMADAMENTE -- ISOTÉRMICO.

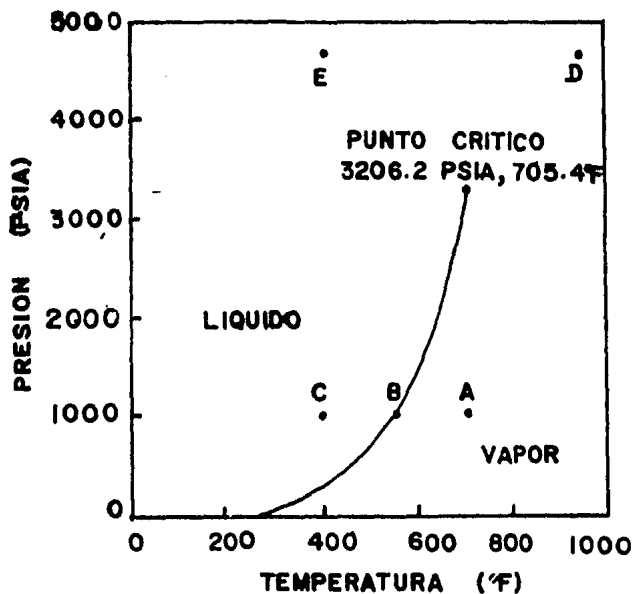
EL PUNTO B CORRESPONDE A UN YACIMIENTO CUYAS CONDICIONES INICIALES COINCIDEN CON LA CURVA DE PRESIÓN DE VAPOR. EN ESTE CASO, Y DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA LA PRODUCCIÓN DEL YACIMIENTO PUEDE VARIAR DESDE AGUA SATURADA CON VAPOR A VAPOR SATURADO, O CUALQUIER MEZCLA DE AGUA Y VAPOR -- CON UNA ENTALPÍA QUE VA DESDE LA DEL AGUA HASTA LA DEL VAPOR, A LAS CONDICIONES ESPECÍFICAS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA.

EL PUNTO C REPRESENTA EL CASO EN QUE UN YACIMIENTO GEO

TÉRMICO A CONDICIONES INICIALES CONTIENE SOLAMENTE AGUA CALIENTE. ESTA SITUACIÓN DIFIERE DE LA DISCUTIDA PREVIAMENTE PARA EL PUNTO A EN QUE EVENTUALMENTE AL DECLINAR LA PRESIÓN DEL YACIMIENTO SE ALCANZARÁN CONDICIONES QUE COINCIDEN CON LA CURVA DE PRESIÓN DE VAPOR. A PARTIR DE AQUÍ, EL MECANISMO DE PRODUCCIÓN SERÁ SIMILAR AL DISCUTIDO PARA EL CASO B. EL FLUJO EN EL YACIMIENTO PARA CONDICIONES DE PRESIÓN DE VAPOR ES APROXIMADAMENTE ISOTÉRMICO E ISOENTÁLPICO.

LOS PUNTOS D Y E REPRESENTAN DOS POSIBLES CONDICIONES INICIALES ADICIONALES. LOS DOS PUNTOS REPRESENTAN CONDICIONES DE PRESIÓN SUPERIORES A LA PRESIÓN CRÍTICA, Y REPRESENTA UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO EL CUAL AL DECLINAR LA PRESIÓN, ALCANZARÁ CONDICIONES SIMILARES A LA DEL YACIMIENTO DE VAPOR CUYAS CONDICIONES INICIALES ESTÁN DADAS POR EL PUNTO A. UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO CUYAS CONDICIONES INICIALES ESTÁN DADAS POR EL PUNTO E AL DECLINAR LA PRESIÓN COMO CONSECUENCIA DE LA PRODUCCIÓN DE FLUIDO, EVENTUALMENTE SU MECANISMO DE PRODUCCIÓN SERÁ SEMEJANTE AL DISCUTIDO PARA LOS PUNTOS C Y B.

FIG. I.1
 DIAGRAMA PRESION-TEMPERATURA PARA EL AGUA



EN ESTE CASO SE HARÁ LA CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL ANÁLISIS DE REGISTROS DE POZOS O TENIENDO COMO REFERENCIA LAS RESPUESTAS DE LOS REGISTROS.

EN SEGUIDA SE ENUMERAN UNA SERIE DE PROPIEDADES QUE EXISTEN EN LOS YACIMIENTOS Y QUE GENERALMENTE DETERMINAN LA RESPUESTA DE LOS MISMOS EN LOS REGISTROS.

1.- LITOLOGÍA.

2.- FASE DEL FLUIDO.

- 3.- QUÍMICA DEL FLUIDO.
- 4.- TEMPERATURA DEL YACIMIENTO.
- 5.- GEOMETRÍA DEL PORO.

1.1.- CLASIFICACION DE ACUERDO AL TIPO DE LITOLOGIA.

LA LITOLOGÍA ES CONSIDERADA COMO LA PROPIEDAD MÁS IMPORTANTE DE LOS YACIMIENTOS ASÍ COMO LA RESPUESTA DE LOS REGISTROS, PARA ROCAS CON MATRIZ QUE OCUPAN LA MAYOR PARTE DEL VOLUMEN TOTAL DE UN YACIMIENTO.

DESDE EL PUNTO DE VISTA LITOLÓGICO, LOS YACIMIENTOS PETROLÍFEROS SON CLASIFICADOS GENERALMENTE EN DOS TIPOS: AQUELLOS QUE REPRESENTAN UN TIPO DE LITOLOGÍA ARENA-ARCILLA Y AQUELLOS DE TIPO CARBONATADO (CON O SIN ASOCIACIONES DE ARCILLA, ARENA, SULFATOS, ETC.). RARAMENTE EN LOS YACIMIENTOS PETROLÍFEROS EXISTEN OTRAS COMPONENTES LITOLÓGICAS, TAL COMO LA PIRITA, LIGNITA (CARBÓN), TOBA, ETC.

EL DISEÑO DE LAS HERRAMIENTAS EN LOS REGISTROS CONVENCIONALES SON PARA ROCAS SEDIMENTARIAS, PARTICULARMENTE PARA LITO

LOGÍAS DE ARENA, ARCILLAS, CALIZAS, DOLOMITA Y ANHIDRITA. DE ANTEMANO SE SABE QUE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS PUEDEN TENER CUALQUIER LITOLOGÍA, YA SEA SEDIMENTARIA, ÍGNEA O METAMÓRFICA. EN TALES YACIMIENTOS, SE ENCUENTRAN LITOLOGÍAS "DESCONOCIDAS" TAL COMO ROCAS ÍGNEAS CRISTALINAS, ROCAS METAMÓRFICAS, ROCAS VOLCÁNICAS VESICULARES, VIDRIO O ROCA VOLCÁNICA CRISTALINA, CENIZAS VOLCÁNICAS, FRAGMENTOS DE ROCAS SOLDADOS, DEPÓSITOS HIDROTERMALES Y PRODUCTOS DE ALTERACIÓN. CONSTANTEMENTE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS SEDIMENTARIOS EXHIBEN INTRUSIONES ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS, PARTICULARMENTE AQUÉLLAS QUE SUFREN ALTERACIÓN HIDROTERMAL, EXPO- NEN UN ALTO GRADO DE HETEROGENEIDAD. POR TANTO, EN EL MISMO YACIMIENTO (ÍGNEO O METAMÓRFICO), LA LITOLOGÍA PUEDE SER TOTALMENTE DIFERENTE DE UN HORIZONTE A OTRO O DE POZO A POZO.

UNA LITOLOGÍA DESCONOCIDA POSEE DISTINTOS PROBLEMAS EN LOS REGISTROS. LA CALIBRACIÓN NORMAL DE LA MAYOR PARTE DE LOS REGISTROS DE POZOS ES INADECUADA PARA ESTAS LITOLOGÍAS, YA QUE LOS REGISTROS DE POZOS SON CALIBRADOS Y PROBADOS EN LITOLOGÍAS CONOCIDAS Y COMUNES EN LOS YACIMIENTOS DE PETRÓLEO. CUANDO SE ENCUENTRA UN TIPO DE ROCA QUE NO SEA COMÚN, LA RESPUESTA DE LOS REGISTROS PUEDE PARECER EXTRAÑA; DE AQUÍ QUE, ES NECESARIO HACER LE ALGUNAS CORRECCIONES A TAL RESPUESTA DEL REGISTRO, SIN EMBARGO, POR MÁS DESCONOCIDA QUE SEA LA LITOLOGÍA, TALES CORRECCIONES NO PUEDEN SER ESTIMADAS.

DURANTE LA CORRIDA DE UN REGISTRO EN UNA LITOLOGÍA PO-

CO COMÚN Y EN EL ANÁLISIS POSTERIOR DEL MISMO, ELLOS MISMOS PRESENTAN PROBLEMAS QUE PUEDEN PERMANECER SIN DETECTAR. LAS PROPIEDADES DE LA MATRIZ (TAL COMO, DENSIDAD VOLUMÉTRICA, TIEMPO DE -- TRÁNSITO SÓNICO, POROSIDAD NEUTRÓN DE LA MATRIZ, CAPTURA DE NEUTRONES EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL) DE ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS SON INVALUABLES POR LOS REGISTROS. EN LAS PROPIEDADES DE LA MATRIZ SON VALUABLES SOLAMENTE UNOS POCOS MINERALES QUE COMPONEN LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS.

LA CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS BASADOS EN LA LITOLOGÍA ES LA SIGUIENTE:

CLASIFICACION DE ACUERDO AL TIPO DE LITOLOGIA

- A) SEDIMENTARIA.
- B) METAMÓRFICA.
- C) ÍGNEAS (CRISTALINA Y VIDRIOSAS).
- D) CENIZA VOLCÁNICA Y SEDIMENTOS ASOCIADOS, TOBA.
- E) BRECHA.
- F) ALTERADA HIDROTÉRMALMENTE.

LA RESPUESTA DE LOS REGISTROS ASOCIADOS AL PROBLEMA -- DEL ANÁLISIS DE REGISTRO DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS SEDIMENTARIOS SON SIMILARES A LA RESPUESTA DE LOS YACIMIENTOS DE PETRÓLEO. LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS SEDIMENTARIOS PUEDEN SER DEL TIPO O SECUENCIA ARENA-ARCILLA, SECUENCIA ARENA-ARCILLA CON IGNEOS, INTRUSIVOS O ALTERACIÓN HIDROTHERMAL, Y ARENA-LIMO-ARCILLA CON CENIZAS VOLCÁNICAS TOBA Y FLUJO VOLCÁNICO ENTRE LAS CAPAS.

EL ANÁLISIS DE LITOLOGÍA COMPLEJA CONVENCIONAL SUMADO A LAS GRÁFICAS CRUZADAS, HISTOGRAMAS Y PROCESAMIENTO AUTOMATIZADO PUEDEN SER APLICADOS A LITOLOGÍAS DE TIPO ÍGNEA Y METAMÓRFICA, PERO LA RESPUESTA DE LOS MINERALES CONSTITUYENTES DE LA MATRIZ SON A MENUDO DESCONOCIDOS Y LA COMPOSICIÓN MINERAL PUEDE VARIAR DRÁSTICAMENTE DE ZONA A ZONA. LA INCORPORACIÓN DEL REGISTRO DE RAYOS GAMA ESPECTRAL CON ESAS TÉCNICAS PUEDE SER ÚTIL EN LA IDENTIFICACIÓN DE ALGUNAS LITOLOGÍAS (WEST Y OTROS 1975).

1.2.- CLASIFICACION DE ACUERDO AL TIPO DE FLUIDO Y TEMPERATURA.

LA FASE DEL FLUIDO ES IMPORTANTE PORQUE EL AGUA Y EL VAPOR TIENEN DIFERENTE RESPUESTA EN UN REGISTRO COMO EL ACEITE Y EL GAS EN UN YACIMIENTO PETROLÍFERO. LA TEMPERATURA TAMBIÉN LO

ES YA QUE AFECTA A LOS REGISTROS DE POZOS GEOTÉRMICOS EN DOS CASOS: CUANDO LA TEMPERATURA DE LOS POZOS GEOTÉRMICOS EXCEDE LA TOLERANCIA DE MUCHAS DE LAS HERRAMIENTAS COMUNES EN LOS REGISTROS, Y EL SEGUNDO CASO ES EL DE QUE LA TEMPERATURA AFECTA EN GRAN PARTE LAS PROPIEDADES DE LA MAYORÍA DE LAS ROCAS Y LOS FLUIDOS.

UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO PUEDE ESTAR SATURADO CON AGUA O VAPOR; EN ALGUNOS CASOS, EXISTE UNA TAPA O CASQUETE DE VAPOR ARRIBA DE UNA ZONA DE AGUA CALIENTE.

LA TEMPERATURA DE UN YACIMIENTO DE AGUA CALIENTE PUEDE ALCANZAR DESDE LA AMBIENTAL HASTA 300°C (680°F). EL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO PRIETO, LOCALIZADO EN EL VALLE DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA NORTE, TIENE UNA TEMPERATURA DE YACIMIENTO CERCA DE LA TEMPERATURA CRÍTICA DEL AGUA QUE ES DE 350°C . LA MAYORÍA DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS DE EXPLOTACIÓN EN MÉXICO PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA SON TODOS DE TEMPERATURAS ALTAS, MAYORES DE 250°C . LOS YACIMIENTOS CON TEMPERATURAS MENORES DE 149°C (300°F), SON CONSIDERADOS ECONÓMICAMENTE LOS MÁS BAJOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA. SIN EMBARGO, LOS YACIMIENTOS CON TEMPERATURAS DEL AGUA DEL POZO MENORES DE 93°C (200°F) SE CONSIDERA SU EXPLOTACIÓN PARA USOS NO ELÉCTRICOS.

HASTA AHORA ESTA ES UNA CLASIFICACIÓN LÓGICA DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS, NO SOLAMENTE DE ACUERDO AL TIPO DE FLUIDO

(VAPOR, AGUA, SECO) SINO TAMBIÉN DE ACUERDO A LA TEMPERATURA - DEL MISMO.

ASÍ PUES, LA CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS DE AGUA CALIENTE (EN BASE A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA) SE CONSIDERARÁ COMO ALTA; A QUELLOS QUE ALCANCEN TEMPERATURAS MAYORES DE 204°C (400°F), INTERMEDIA: ENTRE 149°C (300°F) A 204°C (400°F) Y BAJA; MENOS DE 149°C (300°F). LA TEMPERATURA BAJA ES INCONVENIENTE Y ECONÓMICAMENTE MENOS ATRACTIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, Y LA TEMPERATURA ALTA ES LA MÁS PROVECHOSA DE LAS TRES, PERO TAMBIÉN NO ES MUY COMÚN (CURCULAR 726 OF THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY 1975).

POR LO TANTO, LA CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS DE ACUERDO A LA FASE DE FLUIDO Y TEMPERATURA ES LA SIGUIENTE:

- A) VAPOR
- B) AGUA DE ALTA TEMPERATURA: MAYOR DE 204°C (400°F).
- C) AGUA DE TEMPERATURA MODERADA: 149-204°C (300-400°F)
- D) AGUA DE BAJA TEMPERATURA: MENOR DE 149°C (300°F)
- E) SECO

LOS YACIMIENTOS DE VAPOR SECO SON RAROS, DE MOMENTO SOLAMENTE CINCO DAN RESULTADOS EN EL MUNDO: LOS GEYSERS, EN CALIFORNIA; LARDARELLO Y EL MONTE AMITLA EN ITALIA; Y MATSUKAWA Y -- ONIKOBE EN JAPÓN. TODOS ESTÁN EN PRODUCCIÓN. MIENTRAS QUE RAROS EN OCURRENCIA, LOS YACIMIENTOS DE VAPOR SECO SON PRODUCTORES EN FUENTE DE ENERGÍA. SOLAMENTE DOS POSIBLES CAMPOS SEMEJANTES FUERON IDENTIFICADOS EN LOS E.E.U.U. UNO EN MT. LASSEN NATIONAL PARK, CALIFORNIA Y EL OTRO EN EL YELLOWSTONE NATIONAL PARK, WYOMING. TODOS LOS YACIMIENTOS DE VAPOR SECO CONOCIDOS EXHIBEN CASI LAS MISMAS TEMPERATURAS DEL VAPOR Y PRESIÓN EN EL YACIMIENTO, ALREDEDOR DE 240°C (464°F) Y 3.4 MPA (500 PSI). ESTA TEMPERATURA Y PRESIÓN CORRESPONDEN A LA ENTALPÍA MÁXIMA PARA VALORES EN CONTACTOS CON AGUA. ESTAS CONDICIONES (PRESIÓN Y TEMPERATURA) CAUSAN PROBLEMAS INSÓLITOS EN EL REGISTRO DE POZOS DE VAPOR SECO.

CASI TODOS LOS POZOS DE VAPOR PERFORADOS EN LOS GEYSERS, SOLAMENTE UNOS POCOS HAN SIDO REGISTRADOS, PORQUE EN LA MAYOR PARTE DE LOS REGISTROS SE HAN ENCONTRADO SERIOS PROBLEMAS EN LA HERRAMIENTA Y MAL FUNCIONAMIENTO DEL CABLE, DEBIDO A LA ALTA TEMPERATURA, YA QUE HASTA AHORA NO SE HAN DISEÑADO HERRAMIENTAS QUE RESISTAN ALTAS TEMPERATURAS Y PRESIONES. LOS YACIMIENTOS DE VAPOR ESTÁN SOBREPRESIONADOS CREANDO UN PROBLEMA INCONTROLABLE DE CIRCULACIÓN DEL LODO. EN LOS GEYSERS SE PERFORA CON AGUA O CON LODO HASTA EL FONDO DEL ESTRATO CON AGUA, CONTINUANDO LA PERFORACIÓN DEL POZO DEL YACIMIENTO DE VAPOR CON AIRE. DE AQUÍ QUE LOS REGISTROS SÓNICO, DE RESISTIVIDAD Y AUTOPOTENCIAL NO SE CO--

RREN EN POZOS DE VAPOR, PORQUE EL POZO SE LLENA CON AIRE O GAS SECO EN LUGAR DE UN LÍQUIDO.

ADemás, LA RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN SATURADA DE VA POR ES TAMBIÉN ALTA, PERMITIENDO UNA MAGNÍFICA INTERPRETACIÓN DE UN REGISTRO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA. LA PRÁCTICA INDICA QUE -- PARA POZOS CON AGUA MUY CALIENTE ES NECESARIO REFRESCAR EL POZO, HACIENDO CIRCULAR UN FLUIDO POR UN DETERMINADO TIEMPO, MIENTRAS SE CORRE EL REGISTRO. ESTO NO ES POSIBLE PARA LOS POZOS DE VA-- POR EN LOS GEYSERS, PORQUE BAJA ANORMALMENTE LA PRESIÓN DEL YACI MIENTO. LOS REGISTROS GAMMA NATURAL, NEUTRÓN Y DENSIDAD HAN SI-- DO CORRIDOS SUCESIVAMENTE EN ALGUNOS POZOS DE VAPOR.

TODA LA GAMA UNIVERSAL DE REGISTROS DE POZOS PUEDEN -- SER CORRIDOS EN POZOS DE AGUA CALIENTE DE BAJA TEMPERATURA. TA-- LES REGISTROS PUEDEN SER CORRIDOS EN POZOS DE AGUA CALIENTE DE -- TEMPERATURA INTERMEDIA, SI LOS POZOS PUEDEN REFRESCARSE BAJO CIR CULACIÓN A 177°C (370°F), QUE ES EL LÍMITE DE OPERACIÓN EFECTIVA PARA LA MAYOR PARTE DE ESTOS DISPOSITIVOS DE REGISTRO. PUEDE -- SER IMPRÁCTICO BAJAR LA TEMPERATURA YA QUE EN MUCHOS POZOS DE AL TA TEMPERATURA ES SUFICIENTE CON LAS HERRAMIENTAS COMUNES.

LOS SISTEMAS DE ROCA SECA NO TIENEN UNA POROSIDAD Y -- PERMEABILIDAD SIGNIFICANTE ANTES DE SER FRACTURADA ARTIFICIALMEN TE, POR TANTO, LOS REGISTROS ELÉCTRICOS TIENEN LIMITADA SU UTILI DAD EN CUANTO AL ANÁLISIS CUANTITATIVO ANTES DEL FRACTURAMIENTO.

SIN EMBARGO, ESTOS REGISTROS, MIDEN LA RESISTIVIDAD EN PUNTOS SINGULARES, CUANDO SON CORRIDOS ANTES Y DESPUÉS DEL FRAC--TURAMIENTO, PUEDEN MARCARSE LOS INTERVALOS CON ÉXITO. OTROS RE--GISTROS TALES COMO RAYOS-GAMMA, RAYOS-GAMMA ESPECTRAL, NEUTRÓN - DENSIDAD Y ACÚSTICOS PUEDEN SER USADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN LI--TOLÓGICA Y ESTIMACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FORMA--CIÓN, TAL COMO FRACTURAS Y GRADIENTE DE LA PRESIÓN. DESPUÉS DEL FRACTURAMIENTO ARTIFICIAL, VARIOS REGISTROS PUEDEN SER USADOS EN LA DETECCIÓN Y EVALUACIÓN DE FRACTURAS. TODO REGISTRO SÓNICO - (DE VIAJE DE ONDA), TELEVISOR EN POZOS Y POSIBLEMENTE SP (PUEDEN INDICAR FLUJO DE POTENCIAL EN ZONAS FRACTURADAS) Y RESISTIVIDAD (BAJA RESISTIVIDAD EN ZONAS FRACTURADAS) PUEDEN SER ÚTILES PARA ESTE PROPÓSITO.

ÚTRO MOTIVO PARA CLASIFICAR LOS YACIMIENTOS DE ACUERDO A LA TEMPERATURA, ES EL NIVEL DE TEMPERATURA, YA QUE PUEDE TENER UN EFECTO SIGNIFICANTE SOBRE MUCHAS PROPIEDADES PETROFÍSICAS DE LAS ROCAS DEL YACIMIENTO. POR EJEMPLO, ES BIEN CONOCIDO QUE LA PERMEABILIDAD DECRECE CON LA TEMPERATURA (WEINBRANT (1972), CASE (1974), IRUNA (1976), ETC.) POR ESTA RAZÓN, LA PRÁCTICA DE NOR--MALIZACIÓN DE REGISTROS DE POZOS GEOTÉRMICOS PARA EL USO DE DA--TOS DE NÚCLEOS OBTENIDOS, EN CONDICIONES AMBIENTALES ES DUDOSO.

DESASFORTUNADAMENTE, EL CONOCIMIENTO DE LOS EFECTOS DE TEMPERATURAS Y PRESIONES ALTAS SOBRE YACIMIENTOS ROCOSOS ES MÍN--MO. SE PUEDE DECIR, SIN EMBARGO QUE SI EL NIVEL DE TEMPERATURA

ES MÁS ALTO, LOS EFECTOS SERÁN TAMBIÉN ELEVADOS.

I.3.- CLASIFICACION DE ACUERDO A LA QUIMICA DEL FLUIDO.

LA QUÍMICA DE LOS FLUIDOS GEOTÉRMICOS PUEDE VARIAR EXTENSAMENTE DE CAMPO A CAMPO, DE POZO A POZO EN EL MISMO CAMPO, O DE UNA ZONA A OTRA EN EL MISMO POZO, DEPENDIENDO DE LA NATURALEZA Y CANTIDAD DE DISOLVENTES SÓLIDOS Y GASES, MUCHO MÁS QUE EL AGUA DE LOS CAMPOS PETROLEROS. POR EJEMPLO, EL TOTAL DE DISOLVENTES SÓLIDOS (TDS) CONTENIDOS PUEDE VARIAR DESDE UNOS POCOS CIENTOS DE PARTES POR MILLÓN A MÁS DE 300,000 P.P.M. POR EJEMPLO, EL YACIMIENTO GEOTÉRMICO EN MOUNTAN HOME, IDAHO TIENE UN TDS DE 300 A 800 P.P.M., QUE ESTÁ DENTRO DEL TDS DE AGUA PARA BEBER. PERO EL YACIMIENTO GEOTÉRMICO SALTON SEA, TIENE PROBABLEMENTE EL AGUA SUBTERRÁNEA MÁS SALINA QUE NUNCA SE HAYA DESCUBIERTO: UN TDS MAYOR DE LAS 300,000 P.P.M., QUE ESTÁ CERCANO AL NIVEL DE SATURACIÓN DEL AGUA, DE LOS DISOLVENTES SALINOS A LA TEMPERATURA DEL YACIMIENTO.

EL TDS, O ESTO ES "CLORURO DE SODIO EQUIVALENTE", NO ES UNA ADECUADA DESCRIPCIÓN DE LA QUÍMICA DE UN FLUIDO GEOTÉRMICO, PORQUE EL NaCl NO ES NECESARIAMENTE EL CONSTITUYENTE PREDOMINANTE DE LAS AGUAS GEOTÉRMICAS. EL SULFATO O BICARBONATO PUEDE

ALGUNAS VECES REMPLAZAR A LA CLORITA COMO EL ANIÓN PREDOMINANTE. ADEMÁS, DEPENDIENDO DEL AMBIENTE GEOHIDROLÓGICO, UNA AGUA GEOTÉRMICA PUEDE CONTENER DIVERSOS TIPOS DE CONSTITUYENTES MENORES.

LA TABLA II ES UNA LISTA DE LA QUÍMICA DE LOS SÓLIDOS CONSTITUYENTES DE AGUAS GEOTÉRMICAS Y LAS CONCENTRACIONES MÁXIMAS Y MÍNIMAS REPORTADAS (DE TSAI Y OTROS 1977). ALGUNOS DE ESTOS CONSTITUYENTES PUEDEN TENER EFECTOS SIGNIFICANTES EN LOS REGISTROS DE POZOS. POR EJEMPLO, EL BORO Y EL LITIO, COMUNES EN AGUAS GEOTÉRMICAS, TIENEN UNA ALTA CAPTURA EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL DE NEUTRONES TERMALES.

TABLA II
COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS GEOTERMICAS
(DE TSAI Y OTROS, 1977)

<u>CONSTITUYENTE</u>	<u>CONCENTRACION EN P.P.M.</u>
ALUMINIO (AL)	0 - 7140
AMONIO (NH)	0 - 1400
ARSÉNICO (As)	0 - 12
BARIO (BA)	0 - 250
BORO (B)	0 - 1200
(HBO ₂)	13,6 - 4800

CONSTITUYENTECONCENTRACION EN P.P.M.

BROMURO (BR)	0 - 3080
CADNIO (CD)	0 - 1
CALCIO (CA)	0 - 62900
BIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	0 - 490
(HCO ₃)	0 - 10150
(CO ₃)	0 - 1653
(HCO ₃ + CO ₃)	20 - 1000
(CO ₂ + HCO ₃ + CO ₃)	15 - 7100
CESIO (CS)	0.002 - 22
CLORO (CL)	0 - 241000
COBALTO (CO)	0.014 - 0.018
COBRE (CU)	0 - 10
FLUORURO (F)	0 - 35
GERMANIO (GE)	0.037 - 0.068
SULFURO DE HIDRÓGENO (H ₂ S TOTAL)	0.2 - 74
IODURO (I)	0 - 105
HIERRO (FE)	0 - 4200
LATANIO (LA)	20
PLOMO (PB)	0 - 200
LITIO (LI)	0 - 300
MAGNESIO (MG)	0 - 39200
MANGANESO (MN)	0 - 2000
MERCURIO (HG)	0 - 10
MOLIBDENO (MO)	0.029 - 0.074

CONSTITUYENTECONCENTRACION EN P.P.M.

NIKEL (NI)	0.005 - 2
NITRATO (NO ₃)	0 - 35
NITRITO (NO ₂)	0 - 1
OXIGENO (O ₂ , DISUELTO)	0 - 10
FOSFATO (PU ₄)	0 - 0,3
(HPU ₄)	0,75 - 2,05
(H ₂ PU ₄)	0,02 - 0,22
POTASIO (K)	0,6 - 29900
RUBIDIO (RB)	0 - 169
SILICE (SI ₂ O ₂ , TOTAL)	3 - 1441
PLATA (AG)	0 - 2
SODIO (NA)	2 - 79800
ESTRONCIO (SR)	0,133 - 2000
SULFATO (SU ₄)	0 - 84000
SULFURO (S)	0 - 30
TOTALES DE SALES DISOLVENTES	47 - 387500
ZINC (ZN)	0,004 - 970
ZIRCONIO (ZR)	24

LA TABLA III ES UNA LISTA SIMILAR DE GASES DISOLVENTES
EN LAS AGUAS GEOTÉRMICAS.

TABLA III
COMPOSICION DEL GAS EN VAPORES GEOTERMICOS
(DE TSAI Y OTROS, 1977)

<u>CONSTITUYENTE</u>	<u>CONCENTRACION EN PORCENTAJE DEL VOLUMEN</u>
AMONIACO (NH_3)	0 - 536
ARGÓN (AR)	0 - 6.3
ARSÉNICO (AS)	0.002 - 0.05
ACIDO BORICO (H_3BO_3)	0 - 0.45
BIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)	0 - 99
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	0 - 3
HELIO (HE)	0 - 0.3
HIDROCARBONO (C_2)	0 - 18.3
HIDRÓGENO (H_2)	0 - 39
FLUORURO DE HIDRÓGENO (HF)	0.00002
SULFURO DE HIDRÓGENO (H_2S)	0 - 42
($\text{H}_2 + \text{H}_2\text{S}$)	0.2 - 6
MERCURIO (HG)	0.007 - 40.7 (PPB)
METANO (CH_4)	0 - 99.8

CONSTITUYENTECONCENTRACION EN PORCENTAJE
DEL VOLUMEN

NITRÓGENO (N_2)	0 - 97.1
($N_2 + AR$)	0.6 - 96.2
OXÍGENO (O_2)	0 - 64
BIÓXIDO DE SULFURO (SO_2)	0 - 31

EL ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS AGUAS GEOTÉRMICAS NO SE REALIZA SIEMPRE, PERO EL TDS SI. DE AQUÍ QUE EL TDS PUEDE SER USADO EN LA CLASIFICACIÓN DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS COMO SE MUESTRA ENSEGUIDA:

CLASIFICACION DE ACUERDO A LA SALINIDAD Y QUIMICA DEL FLUIDO

- A) BAJA SALINIDAD: MENOR DE 5000 P.P.M.
- B) SALINIDAD MODERADA (MEDIA): 6000-35000 P.P.M.
- C) ALTA SALINIDAD: 35000-100000 P.P.M.
- D) HIPERSALINIDAD: MAYOR DE 100000 P.P.M.
- E) SECA.

LOS REGISTROS ELÉCTRICOS DE RESISTIVIDAD SON AFECTADOS POR LA QUÍMICA DE LOS FLUIDOS, PORQUE LA QUÍMICA DETERMINA LA RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN. ÉSTO ES IMPORTANTE SI UNO DESEA ESTIMAR LA SALINIDAD DEL AGUA Y DE LA FORMACIÓN A PARTIR DE LOS REGISTROS DE POZOS, DONDE GENERALMENTE LOS DISOLVENTES SÓLIDOS SON TOMADOS A PARTIR DEL NaCl .

TANTO EL SP COMO UNA COMBINACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS - DE RT Y RXO PUEDEN SER USADAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA SALINIDAD - EQUIVALENTE DEL AGUA DE LA FORMACIÓN.

COMO LA SALINIDAD DEL AGUA DE LA FORMACIÓN DECRECE, LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA TAMBIÉN DECRECE Y EN CONSECUENCIA LAS CONDUCTIVIDADES DE LOS MINERALES DE ARCILLA O MINERALES METÁLICOS - LLEGAN A SER MÁS SIGNIFICANTES EN LA CONDUCTIVIDAD TOTAL DE LA FORMACIÓN. DE AQUÍ QUE, LOS FACTORES DE LA RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN CALCULADOS A PARTIR DE LOS REGISTROS DE POZOS, SON TAMBIÉN ALTOS PROBABLEMENTE, PARA TALES YACIMIENTOS, Y CONSECUENTEMENTE EL FACTOR DE CEMENTACIÓN CALCULADO ES BAJO.

PARA MUCHOS SISTEMAS GEOTÉRMICOS DE BAJA SALINIDAD, LA RESISTIVIDAD DEL FILTRADO DEL LODO ES CASI IGUAL O MENOR O IGUAL QUE LA RESISTIVIDAD DEL AGUA DE LA FORMACIÓN. ÉSTO CAUSA PEQUEÑAS O POSITIVAS DEFLEXIONES EN EL SP.

I.4.- CLASIFICACION DE ACUERDO A LA GEOMETRIA DEL PORO.

LA NATURALEZA Y GEOMETRÍA DE LOS ESPACIOS POROSOS PRESENTAN UNA RESISTENCIA EN LA RESPUESTA DE LOS REGISTROS SÓNICO Y DE RESISTIVIDAD DE UNA FORMACIÓN, POR EL CONTROL DE LAS TRAYECTORIAS EN LOS ESPACIOS POROSOS DE LAS ONDAS SÓNICAS Y CORRIENTE -- ELÉCTRICA EN EL PAQUETE DE LA MISMA. LA DETECCIÓN DE LAS FRACTURAS DE UNA SECCIÓN LITOLÓGICA ES DE UNA U OTRA MANERA EL PROPÓSITO PRINCIPAL DE LOS REGISTROS DE POZOS EN LA INDUSTRIA GEOTÉRMICA.

TRADICIONALMENTE EL ANÁLISIS DE REGISTROS DE POZOS SE HA ENFATIZADO O HA HECHO INCAPÍE EN LA EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE UN FLUIDO ESPECÍFICO EN UN VOLUMEN DE POROS DADOS EN UNA ROCA. ÉSTO PUEDE SER REALIZADO ESTIMANDO LA POROSIDAD Y SATURACIÓN DE FLUIDOS A PARTIR DE LOS REGISTROS DE POZOS. SIN EMBARGO, ESTAS ESTIMACIONES TIENEN QUE VER PRINCIPALMENTE CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO EN UN YACIMIENTO. UN YACIMIENTO ES COMERCIAL SI TIENE SUFICIENTE CAPACIDAD DE FLUJO, QUE ESTÁ CONTROLADO POR LA POROSIDAD ASÍ COMO POR LA GEOMETRÍA DEL PORO. DOS ROCAS DE LA MISMA POROSIDAD PUEDEN TENER DIFERENTE CAPACIDAD DE FLUJO SI SU GEOMETRÍA POROSA ES DIFERENTE ENTRE AMBAS.

LA PERMEABILIDAD ES UNA PROPIEDAD MUY IMPORTANTE EN LOS YACIMIENTOS, DE AQUÍ QUE, EN LOS SISTEMAS GEOTÉRMICOS, LA PERMEABILIDAD POR FRACTURA ES LA MÁS FRECUENTE, SIGUIÉNDOLE EN

OCURRENCIA LA DE TIPO INTERGRANULAR Y VESICULAR. LA MAYORÍA DE LOS YACIMIENTOS DE ROCAS ÍGNEAS CRISTALINAS Y ROCAS ÍGNEAS METAMÓRFICAS POSEEN PERMEABILIDAD DEBIDO A FRACTURAS SOLAMENTE. LOS YACIMIENTOS CON LITOLOGÍA SEDIMENTARIA GENERALMENTE POSEEN PERMEABILIDAD INTERGRANULAR; LA PERMEABILIDAD POR FRACTURAS SE PUEDE DESARROLLAR SI LOS SEDIMENTOS ESTÁN BIEN CONSOLIDADOS, HIDROTERMALMENTE ALTERADOS O METAMORFIZADOS. LA GEOMETRÍA VESICULAR DEL PORO SE HA VISTO O SE OBSERVA EN ALGUNOS FLUJOS VOLCÁNICOS, PARTICULARMENTE EN FLUJOS BASÁLTICOS. GENERALMENTE LA GEOMETRÍA POROSA VESICULAR DA ORIGEN A ALTA PERMEABILIDAD, UN CASO EXTREMO ES LA PUMICITA, QUE ES UNA ROCA VOLCÁNICA EXTREMADAMENTE POROSA EN GENERAL, LAS ROCAS FRACTURADAS TIENEN UNA POBRE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO PERO MUY ALTA PERMEABILIDAD. LA GEOMETRÍA POROSA INTERGRANULAR ESTÁ ASOCIADA CON ALTA POROSIDAD Y MODERADA O BAJA PERMEABILIDAD. SI LA LITOLOGÍA ES MUY ESQUISTOSA O TIENE UN ALTO CONTENIDO DE CENIZA VOLCÁNICA, LA PERMEABILIDAD PUEDE SER MUY BAJA.

LA IMPORTANCIA DE CLASIFICAR LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS DE ACUERDO A SU GEOMETRÍA POROSA ESTÁ EN EL HECHO DE QUE LAS DIFERENTES GEOMETRÍAS POROSAS PUEDEN TENER RESPUESTAS DISTINTAS EN LOS REGISTROS. POR EJEMPLO, LA PROPAGACIÓN DE ONDAS SÓNICAS A TRAVÉS DE LAS ROCAS GENERALMENTE NO ESTÁ AFECTADA POR LA PRESENCIA DE POROSIDAD SECUNDARIA, ES DECIR, LAS FRACTURAS Y POROSIDAD VESICULAR, ES UN MEDIO DEL TIPO INTERGRANULAR. ASÍ QUE, EN TALES ROCAS, LA POROSIDAD CALCULADA A PARTIR DEL REGISTRO SÓNICO

ES POROSIDAD PRIMARIA Y ES MÁS BAJA QUE LOS VALORES DE POROSIDAD OBTENIDOS DE LOS REGISTROS DE DENSIDAD Y NEUTRÓN, QUE MIDEN LA POROSIDAD TOTAL. LA DISTINCIÓN ENTRE POROSIDADES PRIMARIA Y SECUNDARIA PUEDE SER DIFÍCIL PARA ALGUNOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS. POR EJEMPLO, EL ESPACIO POROSO VESICULAR EN UN FLUJO VOLCÁNICO, ESTÁ CONSTITUIDO DE POROSIDAD PRIMARIA, MÁS BIEN QUE DE POROSIDAD SECUNDARIA, DE AQUÍ QUE, EL REGISTRO SÓNICO PUEDE SER AFECTADO POR ESE TIPO DE POROSIDAD.

LOS REGISTROS ELÉCTRICOS DE RESISTIVIDAD PUEDEN SER AFECTADOS POR LA GEOMETRÍA DEL PORO, POR EJEMPLO, LOS ESPACIOS POROSOS AISLADOS LLENOS DE FLUIDOS (TALES COMO INCLUSIONES HIDROTÉRMICAS O ALGUNAS VESÍCULAS) NO PUEDEN SER DETECTADOS POR REGISTROS ELÉCTRICOS. TAMBIÉN LOS "FACTORES DE CEMENTACIÓN" DE LAS ROCAS FRACTURADAS SON DIFERENTES EN LAS ROCAS DE TIPO INTERGRANULAR (ESTE PUNTO SE DISCUTIRÁ EN EL CAPÍTULO III). DE ESTA MANERA, LOS VALORES DEL FACTOR DE CEMENTACIÓN PUEDEN SER USADOS COMO UN MEDIO DE DETECCIÓN DE FRACTURAS POR REGISTROS DE POZOS. OTRA UTILIDAD POSIBLE PARA EL USO DE LOS REGISTROS ELÉCTRICOS EN LA DETECCIÓN DE FRACTURAS, ESTÁ EN COMPARAR LA RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN DERIVADA DE UNA HERRAMIENTA DE INDUCCIÓN DE INVESTIGACIÓN PROFUNDA (APROXIMADAMENTE R_t) Y UN DISPOSITIVO DE ENFOCAMIENTO POCO PROFUNDO (APROXIMADAMENTE R_{xo}). R_{xo} ES GENERALMENTE MÁS GRANDE QUE R_t (PORQUE LA RESISTIVIDAD DEL FILTRADO DEL LODO ES MAYOR QUE LA RESISTIVIDAD DEL AGUA DE LA FORMACIÓN), PERO EN LAS ZONAS FRACTURADAS, LA RESISTIVIDAD APARENTE R_{xo} PUEDE SER ME

NOR QUE RT, PORQUE EL DISPOSITIVO DE ENFOCAMIENTO POCO PROFUNDO LEE RESISTIVIDADES VERTICALES Y CONSECUENTEMENTE ESTARÁ MÁS AFECTADO POR UNA FRACTURA VERTICAL QUE EL REGISTRO DE INDUCCIÓN, QUE LEE RESISTIVIDADES HORIZONTALES. EN ROCAS MASIVAS DEL TIPO CRISTALINO, LA RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN ES EN GENERAL EXTREMADAMENTE ALTA; EXCEPTO PARA DISPOSITIVOS ENFOCADOS, LAS MEDIDAS DE RESISTIVIDAD ESTÁN AFECTADAS POR EL EFECTO CORTO-CIRCUITO DE EL LODO EN EL POZO. EL REGISTRO DE AUTOPOTENCIAL PUEDE SER USADO - EN ALGUNOS CASOS PARA LA DETECCIÓN DE FRACTURAS. GENERALMENTE - LA CURVA DEL SP APARECE SIN RASGOS DISTINTIVOS O SEA COMO UNA -- RECTA INDICANDO LITOLOGÍAS MASIVAS; PERO EN ZONAS FRACTURADAS -- SIGNIFICANTES SE PUEDE GENERAR UNA VARIACIÓN.

LOS REGISTROS DE AMPLITUD SÓNICA, QUE MIDEN LA AMPLI-- TUD DE LAS ONDAS COMPRESIONAL Y DE CIZALLA, PUEDEN ALGUNAS VECES SER USADOS EN LA DETECCIÓN DE ZONAS FRACTURADAS. SOBRE ZONAS -- FRACTURADAS, LA AMPLITUD DE LA ONDA SÍSMICA DECRECE BRUSCAMENTE, LA ONDA COMPRESIONAL SERÁ MÁS AFECTADA POR FRACTURAS VERTICALES O DE ALTO ÁNGULO Y LA ONDA DE CIZALLA POR FRACTURAS HORIZONTALES O DE BAJO ÁNGULO. TODOS LOS REGISTROS SÓNICOS DE TIEMPO DE TRÁNSITO DE LA ONDA, PUEDEN SER USADOS PARA INSPECCIÓN VISUAL DE - - FRACTURAS. SIN EMBARGO, ESTAS SON APROXIMACIONES CUALITATIVAS Y PUEDEN DAR SOLAMENTE UNA IDEA APROXIMADA DEL FRACTURAMIENTO, UNA APROXIMACIÓN CUANTITATIVA DE LA POROSIDAD POR FRACTURAS PUEDE SER OBTENIDA ALGUNAS VECES DE LA DIFERENCIA ENTRE LA POROSI-- DAD DEL REGISTRO DE DENSIDAD O NEUTRÓN Y DEL REGISTRO SÓNICO.

SI UNA FORMACIÓN ESTÁ POBREMENTE CONSOLIDADA O FRACTURADA, LA PERMEABILIDAD QUE SE OBTIENE DE LOS NÚCLEOS PUEDE SER INCORRECTA Y A MENUDO ENGAÑOSA. CUANDO SE COMPARAN LOS DATOS DE NÚCLEOS (QUE SON GENERALMENTE HECHOS EN CONDICIONES AMBIENTALES) Y DATOS DE REGISTROS, SE CONSIDERAN LOS POSIBLES EFECTOS DE ALTAS TEMPERATURAS Y PRESIONES SOBRE LAS PROPIEDADES PETROFÍSICAS.

CAPITULO II

REGISTROS DE POZOS UTILIZADOS EN LA GEOTERMIA

EN ESTE CAPÍTULO SE EXPONEN DE MANERA RESUMIDA LOS - - PRINCIPALES TIPOS DE REGISTROS GEOFÍSICOS QUE SE OCUPAN EN LOS - - POZOS GEOTÉRMICOS DEL EJE NEVOLCÁNICO Y DEL VALLE DE MEXICALI, DIVIDIDOS EN DOS GRUPOS: AQUELLOS QUE SE EFECTÚAN EN POZO ABIERTO Y LOS QUE SE DESARROLLAN EN POZO REVESTIDO. LO ANTERIOR ESTÁ BASADO PRINCIPALMENTE EN LAS PUBLICACIONES DE LA COMPAÑÍA SCHLUMBERGER, ASÍ COMO LAS PUBLICACIONES QUE REPORTAN CASOS REALES DE APLICACIÓN EN EXPLORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS.

EL PRIMER GRUPO DE POZOS, O SEA, AQUELLOS QUE PUEDEN - TOMARSE EN POZO ABIERTO, TIENEN COMO FUNCIÓN PRINCIPAL LA ADQUISICIÓN DE DATOS BÁSICOS PARA LA REINTERPRETACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN DE LOS PARÁMETROS PETROFÍSICOS QUE PERMITEN OBTENER UNA EVALUACIÓN CUANTITATIVA Y CONFIABLE DE LAS FORMACIONES (DENSIDAD, POROSIDAD, LITOLOGÍA, ARCILLOSIDAD, ETC.).

EL SEGUNDO GRUPO SE REFIERE A LOS REGISTROS QUE PUEDEN SER TOMADOS EN POZOS REVESTIDOS. SE PROPONEN DOS HERRAMIENTAS - QUE PUEDEN SER UTILIZADAS EN POZOS YA TERMINADOS Y DE LOS CUALES NO EXISTA INFORMACIÓN QUE PERMITA EVALUAR LAS FORMACIONES POR ÉL

ATRAVEZADAS.

SE ANALIZA TAMBIÉN, EL REGISTRO MULTIPROBADOR DE FORMACIONES, EL CUAL PERMITE TOMAR MUESTRAS DE FLUIDOS EN UNA ZONA DE TERMINADA O MEDIR LA PRESIÓN DE LA FORMACIÓN. ASIMISMO, SE INCLUYEN DOS HERRAMIENTAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LA CEMENTACIÓN EFECTUADA Y UNA MÁS PARA EVALUAR EL ESTADO DE LA TUBERÍA -- (CORROSIÓN, INCRUSTACIONES, ETC.),

LA TABLA IV MUESTRA LAS ESPECIFICACIONES GENERALES, -- DEL EQUIPO, DIÁMETRO DEL POZO Y TEMPERATURA PARA QUE EL REGISTRO REQUERIDO SE PUEDA LLEVAR A CABO.

II.1.- EN POZOS SIN REVESTIMIENTO.

A) REGISTRO DOBLE DE INDUCCION (DIL)

DADAS LAS CONDICIONES DE QUE LOS LODOS DE PERFORACIÓN SON DE BAJA SALINIDAD, ES RECOMENDABLE ESTE REGISTRO, EL CUAL SE PUEDE COMBINAR CON OTROS SERVICIOS.

SU OBJETIVO PRINCIPAL SERÍA:

- OBTENER LA RESISTIVIDAD VERDADERA DE LA FORMACIÓN.

- DETERMINAR LOS PERFILES DE INVASIÓN.
- EFECTOS DE CORRELACIÓN.
- CONTROL DE PROFUNDIDAD.
- ANÁLISIS DE FRACTURAMIENTO.

B) REGISTRO DE LITO-DENSIDAD (LDT)

SIRVE PARA EL ANÁLISIS DE LA POROSIDAD E IDENTIFICACIÓN DE LITOLOGÍA. CON ESTE REGISTRO ES POSIBLE DETERMINAR LA DENSIDAD Y EL EFECTO FOTOELÉCTRICO; ÉSTE ÚLTIMO SE RELACIONA CON LA LITOLOGÍA DE LA FORMACIÓN, LA DENSIDAD Y CON LA POROSIDAD.

SU OBJETIVO PRINCIPAL ES:

- ANÁLISIS DE POROSIDAD.
- DETERMINACIÓN DE LITOLOGÍAS.
- CALIBRADOR.
- IDENTIFICACIÓN DE LA PRESIÓN NORMAL.

TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN 176°C, DIÁMETRO --
4 1/2", PRESIÓN MÁXIMA 20 000 PSI.

c) REGISTRO SONICO COMPENSADO (BHC)

ESTE DISPOSITIVO O HERRAMIENTA NOS MIDE EL TIEMPO DE VIAJE DE LA SEÑAL ENTRE LOS TRANSMISORES Y RECEPTORES QUE ESTÁ EN FUNCIÓN DE LA CONSTITUCIÓN DE LA FORMACIÓN, ADEMÁS LA POROSIDAD PRIMARIA Y EL TIPO DE FLUIDO EN EL ESPACIO POROSO.

SUS APLICACIONES PRINCIPALES SERÍAN:

- ANÁLISIS DE POROSIDAD.
- IDENTIFICACIÓN DE LITOLOGÍAS.
- IDENTIFICACIÓN DE PRESIONES ANORMALES.
- IDENTIFICACIÓN DE FRACTURAS.

TEMPERATURA MÁXIMA 170°C, DIÁMETRO 3 5/8", PRESIÓN MÁXIMA 20 000 PSI.

D) REGISTRO DE ESPECTROMETRIA DE RAYOS GAMMA NATURA--
LES (NGT)

ESTE REGISTRO RESUELVE EL ESPECTRO DE RAYOS GAMMA EN SUS TRES COMPONENTES DE RADIACIÓN NATURAL: POTASIO, THORIO Y URANIO.

SUS PRINCIPALES APLICACIONES:

- DELINEACIÓN DEL YACIMIENTO.
- CORRELACIÓN DETALLADA POZO A POZO.
- ESTUDIOS DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONI
CO.
- RECONOCIMIENTO DE ROCAS ÍGNEAS.
- RECONOCIMIENTO DE OTROS MINERALES RADIOACTIVOS.

DIÁMETRO 3 5/8", TEMPERATURA MÁXIMA 177°C, PRESIÓN MÁXIMA 20 000 PSI.

LAS HERRAMIENTAS ANTERIORES PUEDEN SER COMBINADAS EN UNA SOLA CORRIDA, POR EJEMPLO EL REGISTRO DOBLE DE INDUCCIÓN (DIL) SE PUEDE COMBINAR CON EL REGISTRO SÓNICO (BHC). QUIZÁS --

SEA MÁS CONVENIENTE LA EJECUCIÓN COMBINADA DE LOS SIGUIENTES REGISTROS: DOBLE DE INDUCCIÓN (DIL), NEUTRÓNICO COMPENSADO (CNL) Y UN REGISTRO DE DENSIDAD (FDC),

E) COMO UNA HERRAMIENTA PARA COMPLEMENTAR ESTUDIOS -- GEOLÓGICOS, SE ENCUENTRA "EL MEDIDOR DE ECHADOS" DE ALTA RESOLUCIÓN (HDT) QUE DEFINE DOS CURVAS DE ORIENTACIÓN Y DOS DE CALIPER INDEPENDIENTES.

SU UTILIZACIÓN PRINCIPAL SERÍA:

- ENTRADA AL PROCESO FIL-REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DE FRACTURAS.

DIÁMETRO 4", PRESIÓN MÁXIMA 25 000 PSI, TEMPERATURA MÁXIMA 204°C.

11.2.- EN POZOS ENTUBADOS.

EN ESTE GRUPO DE POZOS LOS REGISTROS RECOMENDABLES SERÍAN:

A) EL REGISTRO DE NEUTRONES (CNL)

ESTA HERRAMIENTA CONSTA DE UNA FUENTE EMISORA DE - NEUTRONES RÁPIDOS Y DOS DETECTORES DE NEUTRONES TERMALES. MIDE LA RELACIÓN DE PULSOS ENTRE LOS DETECTORES Y SE RELACIONA A LA - POROSIDAD.

ESTE REGISTRO PUEDE SER CORRIDO EN POZOS ADEMADOS Y DESCUBIERTOS.

SUS APLICACIONES PRINCIPALES:

- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE HIDRÓGENO DE LA -- FORMACIÓN.

DIÁMETRO 3 3/8", PRESIÓN MÁXIMA 20 000 PSI, TEMPERATURA MÁXIMA 350°F = 177°C.

B) REGISTRO DE TIEMPO DE DECAIMIENTO TÉRMICO (TDT)

ESTE REGISTRO PROPORCIONA UNA CONSTANTE DE TIEMPO QUE INDICA LA VELOCIDAD CON QUE SON ABSORBIDOS O CAPTURADOS POR LA FORMACIÓN LOS NEUTRONES TÉRMICOS.

SE UTILIZA COMO INDICADOR DE ZONAS CON GAS, POROSI

DAD Y EN CIERTOS CASOS ES POSIBLE DETERMINAR LA SATURACIÓN DE --
AGUA.

SUS PRINCIPALES APLICACIONES SON:

- EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO.
- CONTROL DE PROFUNDIDAD.
- MONITOREO DEL YACIMIENTO.

DIÁMETRO 1 11/16", PRESIÓN MÁXIMA 15 000 PSI, TEM-
PERATURA MÁXIMA 350°F = 177°C.

c) REGISTRO DE ESPECTROMETRIA GAMMA (GST)

PROPORCIONA UNA MEDIDA DETALLADA DE LA RESPUES
TA DE LA FORMACIÓN AL BOMBARDEO NEUTRÓNICO, ES POSIBLE DETERMI--
NAR CON ESTA HERRAMIENTA LA PRESENCIA DE CARBÓN, OXÍGENO, SILICE,
CALCIO, HIERRO, CLORO, HIDRÓGENO Y AZUFRE. ADEMÁS SIRVE PA-
RA CALCULAR LA SALINIDAD, LITOLOGÍA, POROSIDAD Y CONTENIDO DE AR
CILLA DE LAS FORMACIONES.

SUS PRINCIPALES APLICACIONES SON:

- EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO EN POZO ENTUBADO.
- CONTROL DE PROFUNDIDAD.
- MONITOREO DEL YACIMIENTO.

DIÁMETRO 3 5/8", PRESIÓN MÁXIMA 20 000 PSI, TEMPERATURA MÁXIMA 149°C.

D) EL REGISTRO MULTIPROBADOR DE FORMACIONES (CH-RFT)

SE EFECTÚAN O EFECTÚA DOS MEDICIONES DE PRESIÓN Y DOS MUESTREOS DE FLUIDOS. SE EFECTÚA PARA ESTE PROPÓSITO UN SELLAMIENTO HIDRÁULICO QUE PUEDE SER VERIFICADO.

SUS APLICACIONES PRINCIPALES:

- IDENTIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS EN ZONAS POTENCIALES.
- MEDICIÓN DE LAS PRESIONES DE FORMACIÓN.

DIÁMETRO MÍNIMO 7", PRESIÓN MÁXIMA 20 000 PSI, TEMPERATURA MÁXIMA 171°C.

E) REGISTRO DE EVALUACION DE LA CEMENTACION (CET)

ESTE PRESENTA DATOS PROCESADOS A PARTIR DE --
TRANSDUCTORES ULTRASÓNICOS DE TAL FORMA QUE ES POSIBLE DETERMI--
NAR CANALES EN LA CEMENTACIÓN.

SUS PRINCIPALES APLICACIONES SON:

- IDENTIFICACIÓN DE CANALES EN LA CEMENTACIÓN.
- IDENTIFICACIÓN DEL AISLAMIENTO DE LA ZONA.
- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL ANILLO DEL CEMENTO.
- EVALUACIÓN DE LA TUBERÍA (PERMITE LA EVALUACIÓN DE LA DEFORMACIÓN Y CORROSIÓN).

DIÁMETRO 3 3/8", TEMPERATURA MÁXIMA 177°C, PRESIÓN MÁXIMA 20 000 PSI, DIÁMETRO DE LA TUBERÍA MÍNIMO 5 1/2", MÁXIMO 9 5/8".

F) REGISTRO DE ANALISIS DE TUBERIA (PAL)

UTILIZA CORRIENTES DE ALTA FRECUENCIA Y UN PROBA--

DOR DE FUGAS MAGNÉTICO, PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.

SUS PRINCIPALES APLICACIONES:

- IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO POR CORROSIÓN.
- EVALUACIÓN DE LA VIDA RESTANTE DE LA TUBERÍA.
- MONITOREO DE SISTEMAS ANTICORROSIVOS.
- EVALUACIÓN DEL PROGRESO DE LA CORROSIÓN.

DIÁMETRO MÍNIMO 4.65 CM., MÁXIMO 7.15 CM., TEMPERATURA MÁXIMA 350°F = 177°C, PRESIÓN MÁXIMA 20 000 PSI.

g) REGISTRO DE PRODUCCION (PLT)

PROPORCIONA MEDIDAS SIMULTÁNEAS DE SENSORES PARA - EL ANÁLISIS DE POZOS PRODUCTORES E INYECTORES.

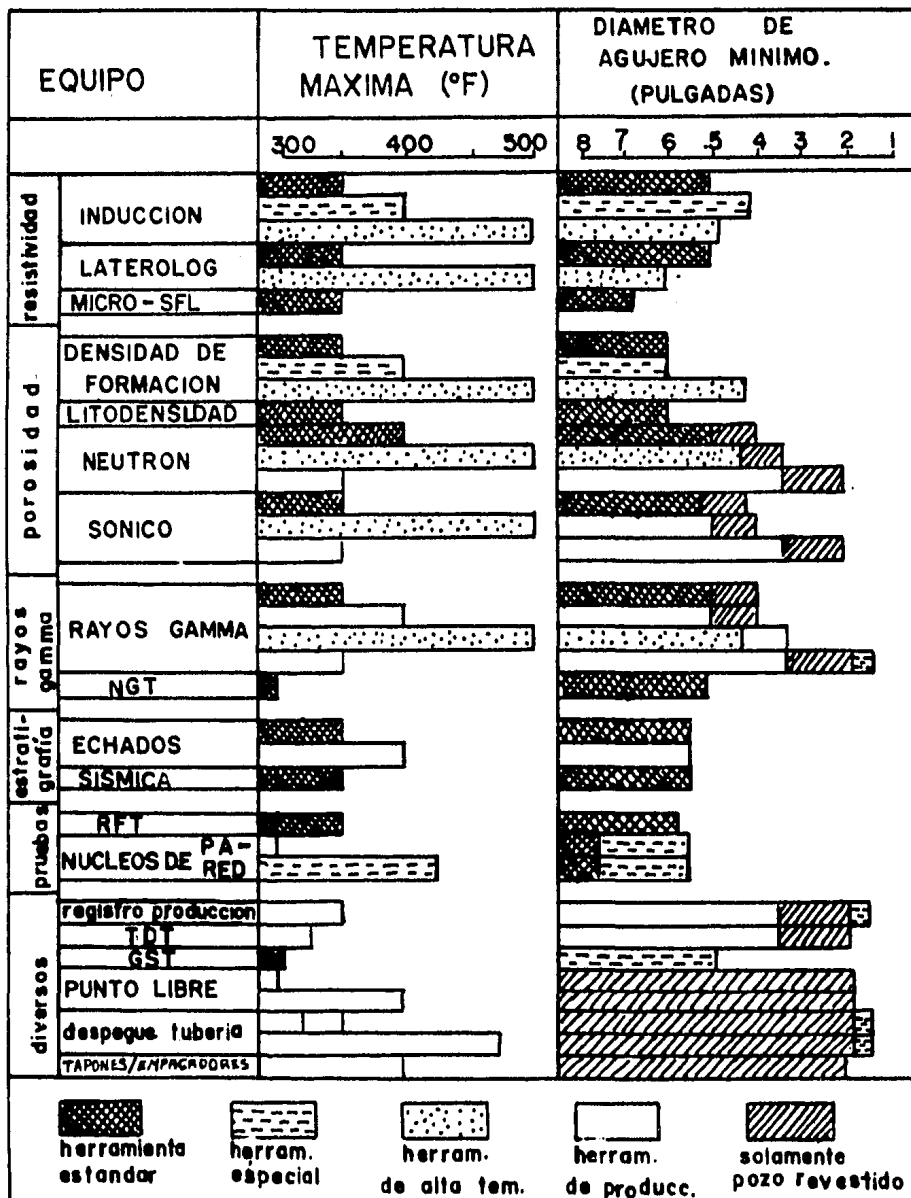
ESTE REGISTRO PUEDE SER EFECTUADO CON LOS SIGUIENTES SENSORES:

- MEDIDOR DE FLUJO.
- CALIBRADOR DE PRESIÓN.
- TRAZADOR RADIOACTIVO.
- TERMÓMETRO.
- MANÓMETRO.
- GRADIOMANÓMETRO.
- CALIPER.
- SONDA DE PRESIÓN Y TEMPERATURA.

SE UTILIZA PRINCIPALMENTE PARA EVALUAR LA PERMEABILIDAD DEL INTERVALO ESTIMADO COMO PRODUCTOR. TAMBIÉN IDENTIFICA ZONAS QUE NO CONTRIBUYEN A LA PRODUCCIÓN.

TEMPERATURA MÁXIMA 177°C.

TABLA IV
 CONDICIONES DE UTILIZACION DE LAS HERRAMIENTAS DE REGISTROS
 (TOMADO DE SCHLUMBERGER, 1984)



AHORA SE DISCUTIRÁ MÁS APLIAMENTE UNA HERRAMIENTA MUY IMPORTANTE EN LOS POZOS GEOTÉRMICOS, EL REGISTRO SÓNICO DE CEMENTACIÓN.

II.3.- REGISTRO SONICO DE CEMENTACION.

EN LOS REGISTROS SÓNICOS DE CEMENTACIÓN, SE UTILIZAN - LAS PROPIEDADES DE VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ACÚSTICAS LONGITUDINALES. UNA CARACTERÍSTICA DE LAS ONDAS ACÚSTICAS - ES LA DE APROVECHAR SU AMPLITUD PARA APLICARLAS EN EL CONTROL DE CALIDAD DE LA CEMENTACIÓN DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO DE -- LOS POZOS. CUANDO EL AGUJERO ESTÁ ADEMADO SUS CONDICIONES ACÚSTICAS SON DIFERENTES. ESTAS MODIFICACIONES SE DEBEN SOBRE TODO, POR LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO Y EL CEMENTO Y POR EL GRADO DE - ADHERENCIA DE ÉSTE, ASÍ COMO TAMBIÉN POR SU DISTRIBUCIÓN PERIFÉRICA EN EL ESPACIO ANULAR.

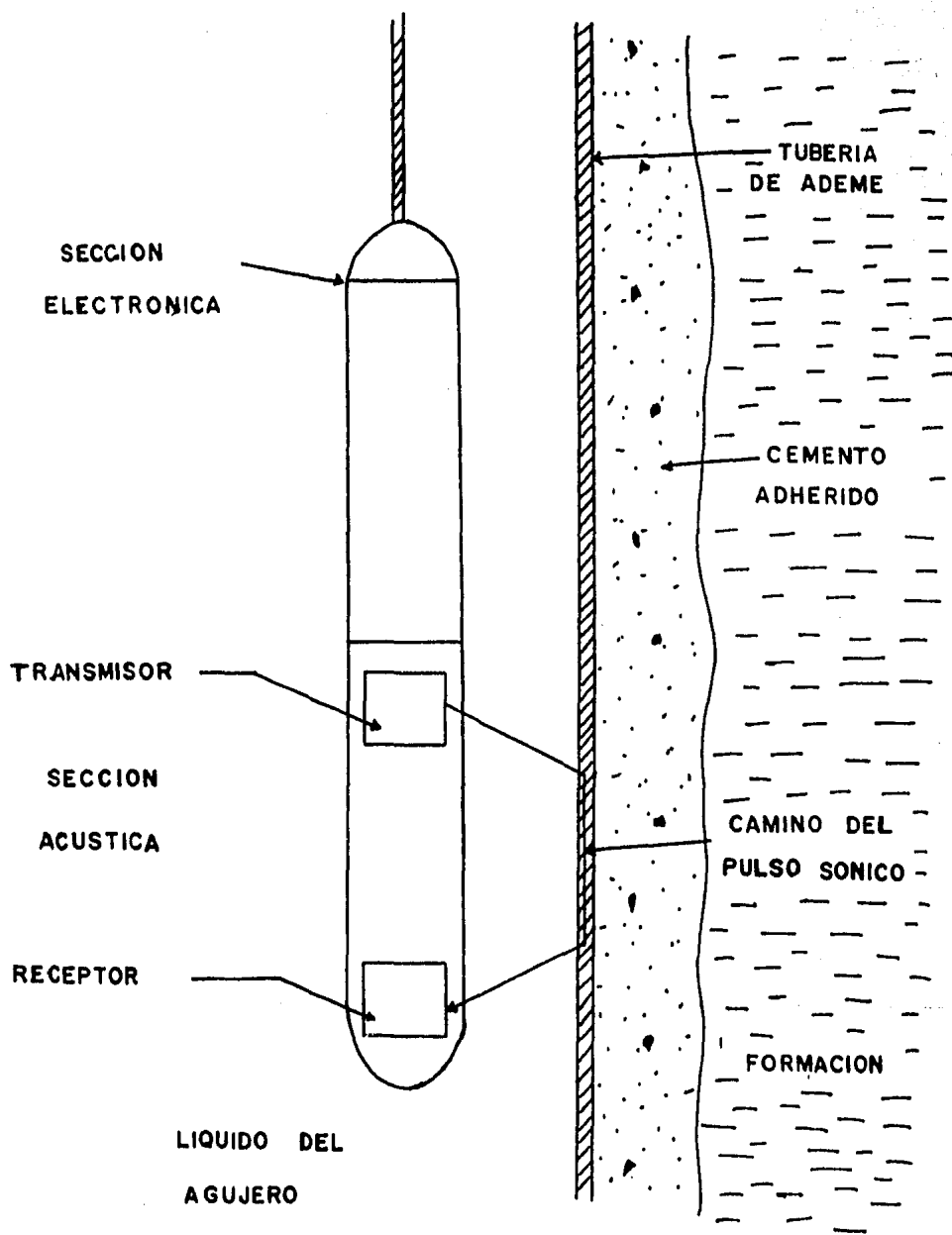
COMO YA SE SABE EL OBJETIVO PRINCIPAL DE LA CEMENTA- - CIÓN DE UNA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO ES ADEMAR LA PARED DEL AGUJERO PARA QUE NO SE DERRUMBE O COMO POR EJEMPLO, EN POZOS PETROLEROS PARA AISLAR HORIZONTES PRODUCTORES QUE CONTENGAN AGUA, ETC.

EN EL PASADO, SE USÓ MUCHO TIEMPO EL REGISTRO DE TEMPE

RATURA PARA EVALUAR LA EFICIENCIA DE LAS CEMENTACIONES. PUES ÉSTE SOLAMENTE INDICABA LA PRESENCIA DE CEMENTO DETRÁS DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO MÁS NO SI ESTABA ADHERIDO A ÉSTA. LOS REGISTROS SÓNICOS DE CEMENTACIÓN LOS HAN VENIDO A SUSTITUIR PORQUE EN ÉSTOS, SI SE PERMITE DETERMINAR EL GRADO DE ADHERENCIA DEL CEMENTO A LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO, ASÍ COMO SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. EL REGISTRO SÓNICO SE PUEDE OBTENER CON LA MISMA SONDA QUE SE USA EN EL REGISTRO SÓNICO DE POROSIDAD. ÉSTE REGISTRO MIDE LA AMPLITUD DE LA ONDA ACÚSTICA EN MILIVOLTS (SÓNICO).

EN LA FIGURA II.1. SE MUESTRA UN ESQUEMA DE LA SONDA DE REGISTRO FRENTE A UNA TUBERÍA CEMENTADA EN AGUJERO CON LODO. LA ONDA ACÚSTICA SALE DEL TRANSMISOR, VIAJA A TRAVÉS DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO Y ES DETECTADA POR EL RECEPTOR Y ENVIADA SU SEÑAL A LA SUPERFICIE EN DONDE SE REGISTRA.

FIGURA II.1.
ESQUEMA DE LA SONDA DEL REGISTRO SONICO DE CEMENTACION



SI EL CEMENTO ESTÁ BIEN ADHERIDO A LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO HABRÁ BUEN ACOPLAMIENTO ACÚSTICO CON EL CEMENTO Y TAMBIÉN CON LA FORMACIÓN. LA AMPLITUD DE LA ONDA REGISTRADA SERÁ MENOR QUE EN EL CASO DE LA TUBERÍA LIBRE Y EN EL CASO DE QUE LA ADHERENCIA SEA PARCIAL SE TENDRÁ UN VALOR INTERMEDIO DE AMPLITUD.

EN LA FIGURA II.2, SE MUESTRA UN EJEMPLO DE BUENA CEMENTACIÓN DE REGISTRO TOMADO DESPUÉS DE 24 HORAS. A LA IZQUIERDA APARECE EL REGISTRO DE TEMPERATURA PARA COMPARACIÓN,

EN LA FIGURA II.3, SE MUESTRA UN REGISTRO CON VALORES COMPARATIVOS SEGÚN DIFERENTES SITUACIONES.

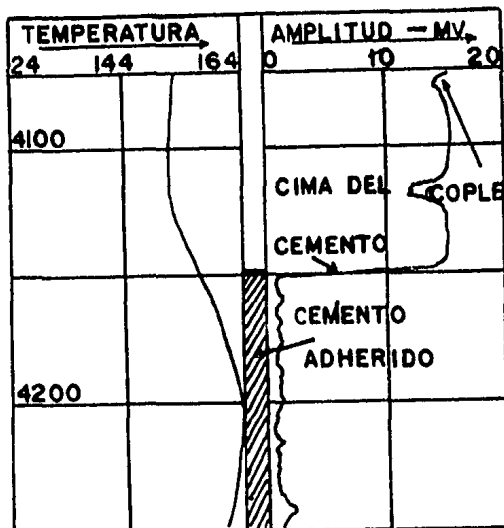


FIGURA II.2.

EJEMPLO DE UNA BUENA CEMENTACION
 REGISTRO TOMADO 24 HORAS DESPUES DE LA CEMENTACION
 A LA IZQUIERDA APARECE EL REGISTRO DE TEMPERATURA PARA COMPARACION

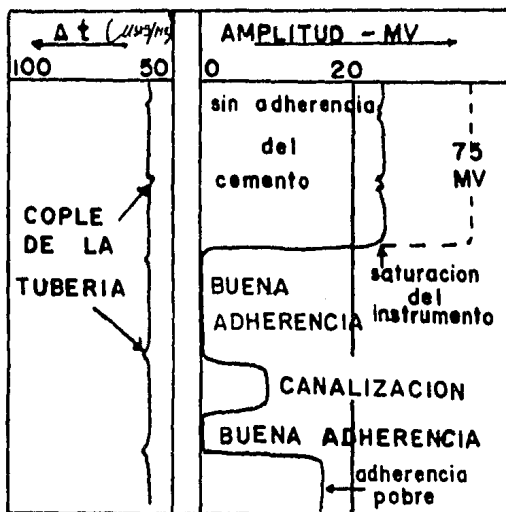


FIGURA II.3.
 EQUENA QUE MUESTRA COMPARATIVAMENTE LOS VALORES
 DEL REGISTRO SEGUN SITUACIONES DIFERENTES

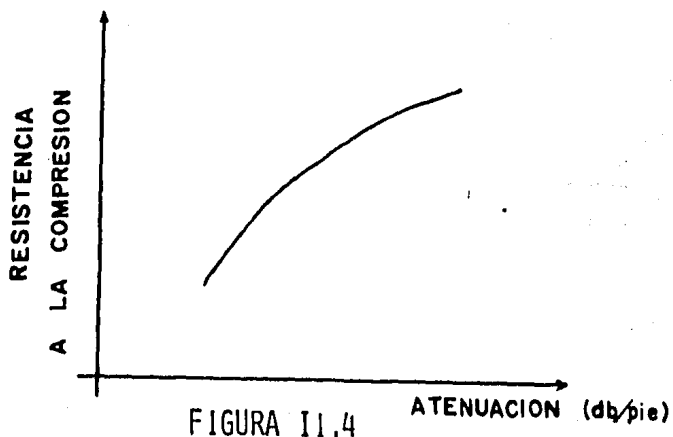


FIGURA II.4
 RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y LA ATENUACION

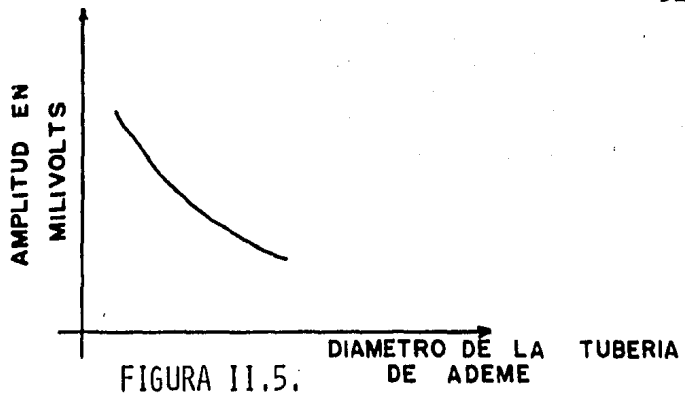


FIGURA II.5.

RELACION ENTRE EL DIAMETRO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO Y LA AMPLITUD DE LA ONDA ACUSTICA

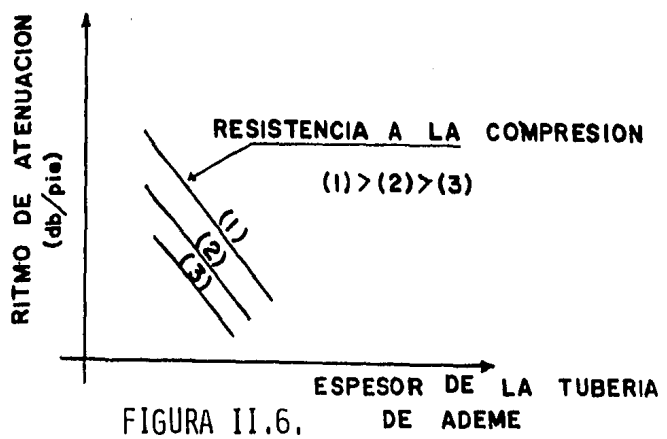


FIGURA II.6.

RELACION ENTRE EL ESPESOR DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO Y EL RITMO DE ATENUACION

LAS VARIABLES DE LAS CUALES DEPENDE LA AMPLITUD DE LA ONDA ACÚSTICA DE UN REGISTRO SÓNICO DE CEMENTACIÓN SON PRINCIPALMENTE: LA RESISTENCIA DEL CEMENTO A LA COMPRESIÓN, EL ESPESOR DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO Y EL GRADO DE ADHERENCIA Y DISTRIBUCIÓN PERIFÉRICA DEL CEMENTO. OTRAS VARIABLES MENORES SON: EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO, ESPESOR DEL CEMENTO, -- EXCENTRICIDAD DE LA SONDA Y PRESIÓN DE CEMENTACIÓN.

A) RESISTENCIA DEL CEMENTO A LA COMPRESION.

POR EXPERIMENTOS HECHOS EN EL LABORATORIO, DEMUESTRAN QUE EXISTE UNA RELACIÓN DEFINIDA ENTRE LA RESISTENCIA DEL CEMENTO A LA COMPRESIÓN Y LA ATENUACIÓN DE LA ONDA ACÚSTICA. LA RESISTENCIA AUMENTA CON EL TIEMPO DE FRAGUADO. (VER FIGURA II.4)

B) EFECTO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO.

MIENTRAS MENOR SEA EL DIÁMETRO HABRÁ UN MEJOR ACOPLAMIENTO ACÚSTICO CON LOS TRANSDUCTORES DE LA SONDA. ESTO DA POR RESULTADO, UNA AMPLITUD MAYOR DE LA ONDA CONFORME EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DISMINUYA. ESTE EFECTO ES VÁLIDO EN TUBERÍAS CEMENTADAS, PERO LA AMPLITUD DE LA ONDA SERÁ MENOR PARA UNA MISMA TUBERÍA. (VER FIGURA II.5.)

SI LA TUBERÍA ESTÁ LIBRE, EL RITMO DE ATENUACIÓN -

ES INDEPENDIENTE DE SU ESPESOR, PERO SI ESTÁ CEMENTADA, EL - - EFECTO DE ATENUACIÓN SI DEPENDE DEL ESPESOR DE LA TUBERÍA. AHORA, PARA UNA RESISTENCIA DADA DEL CEMENTO, SI EL ESPESOR DE LA TUBERÍA DISMINUYE, EL RITMO DE ATENUACIÓN DE LA SEÑAL AUMENTA COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA II.6.

c) CEMENTO.

LOS EXPERIMENTOS QUE SE HAN HECHO EN EL LABORATORIO DEMUESTRAN QUE, PARA UNA TUBERÍA CEMENTADA LOS EFECTOS DE ATENUACIÓN MÁXIMA OCURREN CUANDO EL ESPESOR DEL CEMENTO EN EL ESPACIO ANULAR ALCANZA UN VALOR DE 19 MM (3/4"). EN GENERAL EN LA GRAN MAYORÍA DE POZOS DE UN ESPACIO ANULAR ENTRE AGUJERO Y TUBERÍA DE REVESTIMIENTO MAYOR DE ESTE VALOR, POR ELLO, EN LA INTERPRETACIÓN DEL REGISTRO SÓNICO DE CEMENTACIÓN NO SE TOMA EN CUENTA EL ESPESOR DEL CEMENTO.

II.3.1.- INTERPRETACION.

LA INTERPRETACIÓN PUEDE SER CUALITATIVA O CUANTITATIVA. LA PRIMERA CONSISTE PRINCIPALMENTE EN LA OBSERVACIÓN DE LAS AMPLITUDES MEDIDAS; LA SEGUNDA SE REFIERE SOBRE TODO AL CÁL-

CULO DE LA RESISTENCIA DEL CEMENTO A LA COMPRESIÓN. DEBEN TOMAR SE EN CUENTA ESTAS DOS INTERPRETACIONES PARA PODER EMITIR UN MEJOR JUICIO SOBRE LA CALIDAD DE LA CEMENTACIÓN. UNA INTERPRETACIÓN BASADA ÚNICAMENTE EN EL ESTUDIO DE LA AMPLITUD DE LA SEÑAL PUEDE CONDUCIR A UN JUICIO ERRÓNEO.

LOS CÁLCULOS DE RESISTENCIA SON SEGUROS CUANDO SE SATISFACEN LAS SIGUIENTES CONDICIONES PRINCIPALMENTE:

- 1.- SONDA Y TUBERÍA DE REVESTIMIENTO CENTRADOS.
- 2.- ESPESOR DEL CEMENTO DE 19 MM (3/4") O MAYOR.
- 3.- QUE NO SE HAYAN APLICADO PRESIONES EXCESIVAS U OTROS ESFUERZOS DENTRO DE LA TUBERÍA ANTES DE TOMAR EL REGISTRO SÓNICO DE CEMENTACIÓN.
- 4.- QUE EL VALOR CALCULADO CONCUERDE RAZONABLEMENTE CON EL ESPERADO PARA EL TIPO DE CEMENTO USADO, CONDICIONES Y TIEMPO DE FRAGUADO.
- 5.- QUE NO HAYA INTERFERENCIAS ACÚSTICAS DEBIDO A SEÑALES PROVENIENTES DE LA FORMACIÓN, CON LA SEÑAL DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.
- 6.- QUE SE OBSERVEN VALORES DE AMPLITUD RAZONABLEMEN-

TE UNIFORMES EN ZONAS EN DONDE EL AGUJERO ES CASI DEL MISMO DIÁMETRO DE LA BARRENA.

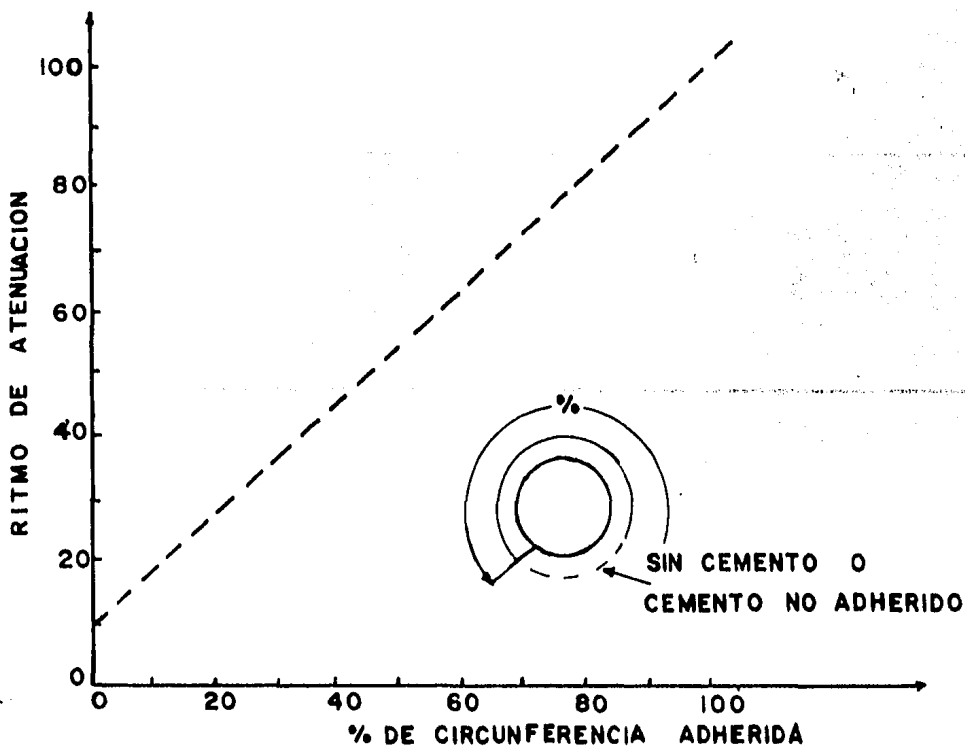
AHORA, SE PUEDE ENCONTRAR QUE EN LOS VALORES CALCULADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SEAN ANORMALMENTE MUY BAJOS Y ESTO SE PUEDE DEBER A: EL CEMENTO PUDO HABERSE CONTAMINADO CON EL LODO; SE PUDO HABER CANALIZADO O BIEN LA ADHERENCIA A LA TUBERÍA - DE REVESTIMIENTO SE PUDO HABER ALTERADO POR ALGÚN ESFUERZO INTERNO DE LA TUBERÍA.

ESTOS EFECTOS NO PUEDEN SEPARARSE, SE CONSIDERAN DENTRO DE UN TÉRMINO LLAMADO ÍNDICE DE LA ADHERENCIA. EL ÍNDICE DE ADHERENCIA ESTÁ DADO POR LA RELACIÓN DEL RITMO DE ATENUACIÓN OBSERVADO EN LA ZONA DE INTERÉS AL RITMO DE ATENUACIÓN EN UNA ZONA QUE SE CONSIDERE QUE ESTÁ COMPLETAMENTE CEMENTADA. PUEDE SUCCEDER QUE NO SE PUEDA ENCONTRAR UNA ZONA DE REFERENCIA DE ATENUACIÓN MÁXIMA, O SEA UNA ZONA BIEN CEMENTADA; ENTONCES, ESTE VALOR SE PUEDE ESTIMAR UTILIZANDO COMO ARGUMENTO LA RESISTENCIA DEL CEMENTO DADO; LUEGO SE PROCEDE A LA INVERSA USANDO UN MONOGRAMA PARA OBTENER EL RITMO DE ATENUACIÓN ESPERADO EN EL EJE MARCADO EN DB/PIE.

POR OTRA PARTE, SI SE TIENE LA CERTEZA DE QUE NO HUBO CONTAMINACIÓN DEL CEMENTO NI SE OCACIONÓ DAÑO A LA ADHERENCIA, - ES MUY PROBABLE QUE LA RESISTENCIA BAJA CALCULADA SE DEBA A CANALIZACIÓN DEL CEMENTO.

EN LA FIGURA II.7. SE MUESTRAN RESULTADOS DE LABORATORIO QUE INDICAN QUE EL ÍNDICE DE ADHERENCIA, MODIFICADO POR LA - CANALIZACIÓN, ES PRÁCTICAMENTE PROPORCIONAL A LA PARTE DE CIRCUNFERENCIA DE CEMENTO ADHERIDO A LA TUBERÍA. SE HA ENCONTRADO QUE LAS CONDICIONES DE LA SUPERFICIE DE LA TUBERÍA TIENE EFECTO SOBRE EL GRADO DE ADHERENCIA DEL CEMENTO. UNA SUPERFICIE ENMOHECIDA O DE UNA TUBERÍA USADA PRODUCEN BUENA ADHERENCIA CON EL CEMENTO, EN CAMBIO, UNA SUPERFICIE CUBIERTA CON GRASA REDUCE LA ADHERENCIA.

FIGURA II.7.
PORCIENTO DE RITMO DE ATENUACION CONTRA
PORCIENTO DE CIRCUNFERENCIA ADHERIDA



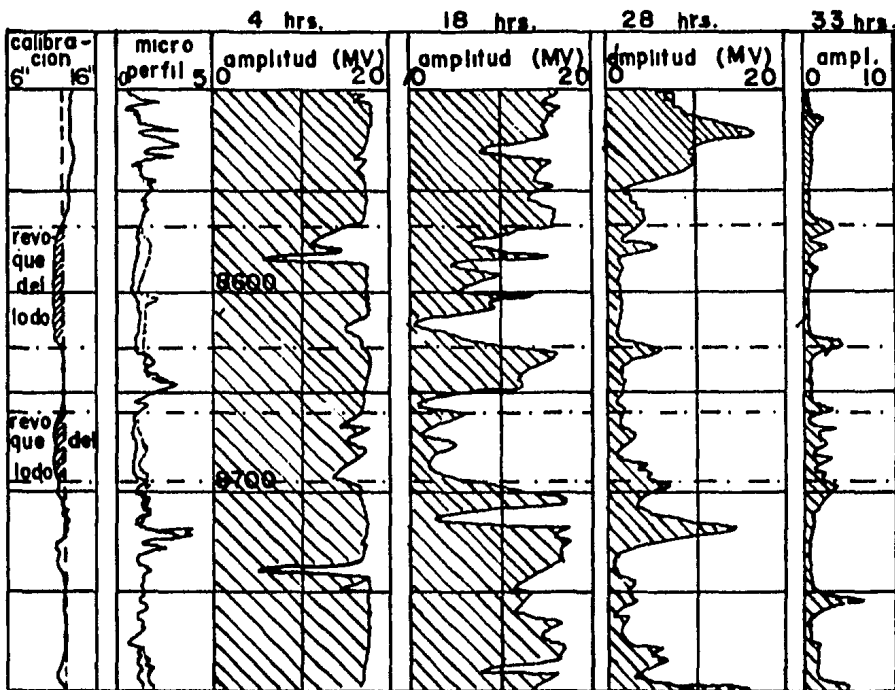
SE HAN TOMADO REGISTROS SÓNICOS DE CEMENTACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE EFECTUAR CEMENTACIONES FORZADAS. A VECES, HAY INDICACIONES DE DAÑO A LA CEMENTACIÓN PRIMARIA, ESTE DAÑO ES MAYOR - - MIENTRAS MÁS QUEBRADIZO ES EL CEMENTO, LOS CEMENTOS MÁS PLÁSTICOS SUFREN MENOS FRACTURAS.

EN LA FIGURA II.8, SE ILUSTRAN EL EFECTO DEL TIEMPO DESPUÉS DE LA CEMENTACIÓN SOBRE EL REGISTRO SÓNICO DE CEMENTACIÓN, LO CUAL INDICA QUE PARA INTERPRETAR HAY QUE TOMAR EN CUENTA EL TIEMPO TRANSCURRIDO DESPUÉS DE CEMENTADO EL POZO.

FIGURA II.8.

VARIACION DE LA AMPLITUD DE LA SEÑAL DEL REGISTRO SONICO DE CEMENTACION CON EL TIEMPO DESPUES DE CEMENTADA LA TUBERIA DE ADEME

TIEMPO DESPUES DE LA CEMENTACION



LA INTERPRETACIÓN DE REGISTROS DE POZOS EN FORMACIONES COMPLEJAS REQUIERE DE UNA GRAN CANTIDAD DE DATOS. ENSEGUIDA SE PRESENTAN UNA SERIE DE COMBINACIONES DE REGISTROS PARA DIFERENTES LITOLOGÍAS, ASÍ COMO AQUELLOS QUE NOS PUEDAN AUXILIAR EN LA OBTENCIÓN DE CIERTOS PARÁMETROS.

CRITERIOS PARA LA SELECCION DE REGISTROS

A) COMBINACIONES DE REGISTROS.

1.- CLASICAS.

A) RESISTIVIDAD Y SP.

B) REGISTROS DE POROSIDAD Y LITOLOGÍA.

MEJOR: DENSIDAD/NEUTRÓN/SÓNICO/RAYOS GAMMA/CALIPER

Ó : DENSIDAD/NEUTRÓN/RAYOS GAMMA/CALIPER

Ó : DENSIDAD/SÓNICO/RAYOS GAMMA/CALIPER

C) DATOS DE PRESIÓN Y/O TEMPERATURA.

2.- OTRAS LITOLOGIAS.

A) RESISTIVIDAD Y SP.

B) REGISTROS DE POROSIDAD Y LITOLOGÍA,
DENSIDAD/NEUTRÓN/SÓNICO/RAYOS GAMMA/CALIPER

C) DATOS DE TEMPERATURA Y/O PRESIÓN.

B) CALIDAD.

1.- CALIBRADO ADECUADAMENTE.

2.- REPETIBLE.

3.- CONDICIONES RAZONABLES DEL POZO (DERRUMBES Y
RUGOSIDADES MÍNIMOS).

4.- COMBINACIONES EN PREVIAS CORRIDAS (CUANDO SE
PUEDA APLICAR),

C) DATOS Y REGISTROS AUXILIARES.

1.- DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS.

- 2.- REGISTRO DE LA PERFORACIÓN.
- 3.- NÚCLEOS Y ANÁLISIS DE NÚCLEOS.
- 4.- REGISTROS DE TEMPERATURA.
- 5.- MEDIDAS DE LA PRESIÓN (ESTUDIO),
- 6.- EXAMEN DE LOS RESULTADOS.
- 7.- RAYO GAMMA ESPECTRAL (K,U,Th).
- 8.- ONDA ACÚSTICA.

CAPITULO III

OBTENCION DE PARAMETROS GEOTERMICOS

EL OBJETIVO BÁSICO EN LOS REGISTROS DE POZOS GEOTÉRMICOS ES LA DETECCIÓN DE ZONAS DE MODERADA A ALTA PERMEABILIDAD -- QUE CONTENGAN FLUIDOS DE ALTA TEMPERATURA; ADEMÁS, LA IDENTIFICACIÓN DE LITOLOGÍAS, COMPOSICIÓN DE LOS FLUIDOS, ETC.

PARA LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS QUE HAN SIDO IDENTIFICADOS EN UN YACIMIENTO, ES NECESARIO DETERMINAR DIFERENTES PARÁMETROS INDIVIDUALES QUE VARÍAN CON EL TIPO DE RECURSO GEOTÉRMICO, MEDIO AMBIENTE GEOLÓGICO Y EL ESTADO DEL RECURSO A EXPLOTAR. ÉSTOS FACTORES ESPECÍFICOS SON LOS SIGUIENTES:

- 1.- TEMPERATURA.- TEMPERATURA DE LA FORMACIÓN ESTÁTICA Y DEL POZO.
- 2.- PRESION.- PRESIÓN HIDROSTÁTICA DEL POZO, PRESIÓN DE SOBRECARGA Y DE LA FORMACIÓN.
- 3.- GASTO.- ALTOS Y BAJOS VOLÚMENES DE GASTOS EN LAS PRUEBAS O PRODUCCIÓN.
- 4.- PERMEABILIDAD Y PARAMETROS ASOCIADOS.- SISTEMAS FRACTURA--

DOS, SALINIDAD DEL YACIMIENTO, VELOCIDAD DEL FLUIDO, POROSIDAD INTERCONECTADA, GEOMETRÍA DEL POZO, TAMAÑO DE LOS POROS Y COMPRESIBILIDAD.

- 5.- DATOS HIDROGEOQUIMICOS.- TALES COMO TOTAL DE DISOLVENTES E INDISOLVENTES SÓLIDOS Y GASES, pH, Eh, DENSIDAD DEL FLUIDO, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y COMPRESIBILIDAD.
- 6.- POROSIDAD.- INTERCONECTADA, AISLADA, EFECTIVA, PRIMARIA Y SECUNDARIA (FRACTURAS, SOLUCIÓN, DOLOMITIZACIÓN).
- 7.- REVESTIMIENTO.- CORROSIÓN, PROBLEMAS DE INCRUSTACIONES Y DISEÑO.
- 8.- CEMENTACION.- AISLAMIENTO DE FLUIDOS, CANALIZACIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO.
- 9.- PROPIEDADES GEOLOGICAS.- TALES COMO ESPESOR DEL YACIMIENTO, TIPO DE ROCA, ESTRATIGRAFÍA, ORIENTACIÓN, COMPOSICIÓN MINERALÓGICA Y DISCONTINUIDADES.
- 10.- FLUJO TERMICO Y CONDUCTIVIDAD TERMAL.

ESTABLECER VALORES EXACTOS DE ALGUNOS DE LOS PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS (MENCIONADOS ANTERIORMENTE) RESULTA BASTANTE DIFÍCIL DADA LA COMPLEJIDAD DE ESTE TIPO DE YACIMIENTOS; SIN EMBARGO, TÉCNICAS DESARROLLADAS RECIENTEMENTE PERMITEN DETERMINAR VALORES QUE PUEDEN CONSIDERARSE COMO REPRESENTATIVOS.

LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA APLICACIÓN DE TALES TÉCNICAS PUEDE SER CLASIFICADA EN DOS GRUPOS: EN EL PRIMERO DE ELLOS LA INFORMACIÓN OBTENIDA ES DIRECTA, COMO ES EL ANÁLISIS DE NÚCLEOS. EN EL SEGUNDO GRUPO SE INCLUYE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN FORMA INDIRECTA MEDIANTE CÁMARAS FOTOGRAFICAS, REGISTROS GEOFÍSICOS DE EXPLOTACIÓN Y PRUEBAS DE VARIACIÓN DE PRESIÓN.

LA INFORMACIÓN QUE PUEDE SER OBTENIDA DE LOS NÚCLEOS, ÚNICO MÉTODO DIRECTO DISPONIBLE, ES LA MAGNITUD Y CANTIDAD DE FRACTURAS QUE CONTRIBUYEN EN MAYOR O MENOR MEDIDA A LA POROSIDAD Y PERMEABILIDAD DE UNA FORMACIÓN. DICHAS FRACTURAS PROPORCIONAN INFORMACIÓN SOBRE EL GRADO DE DESARROLLO DEL FRACTURAMIENTO, ES DECIR, INFORMACIÓN ESTADÍSTICA SOBRE EL ESPACIAMIENTO, AMPLITUD Y ORIENTACIÓN DE LAS FRACTURAS EN EL YACIMIENTO. EN ALGUNOS TIPOS DE ROCAS SE OBTIENEN RECUPERACIONES MUY POBRES DE NÚCLEOS INDICANDO ZONAS INTENSAMENTE FRACTURADAS. SE DEBERÁ TENER MUCHO CUIDADO EN SABER DISTINGUIR FRACTURAS NATURALES Y FRACTURAS INDUCIDAS DURANTE LA PERFORACIÓN (ARTIFICIALES).

PEQUEÑAS CÁMARAS FOTGRÁFICAS QUE SON INTRODUCIDAS EN EL POZO, SON UTILIZADAS PARA RESOLVER MUCHOS PROBLEMAS DE PERFORACIÓN Y PRODUCCIÓN. ÉSTAS PERMITEN OBTENER INFORMACIÓN DIRECTA DE LÍMITES DE CAPAS, DESVIACIÓN DEL POZO DE LA VERTICAL Y LA - - ORIENTACIÓN DIRECCIONAL DE SISTEMAS DE FRACTURAS INDUCIDAS O NATURALES, TIPO DE ROCA Y TAMAÑO Y FORMA DEL AGUJERO. EN LA ACTUALIDAD EL USO DE ESTAS HERRAMIENTAS ES SÓLO APLICABLE EN AGUJEROS VACÍOS O LLENOS CON GAS. EN POZOS LLENOS CON EL FLUIDO DE PERFORACIÓN, LAS FOTOGRAFÍAS SÓLO PUEDEN SER OBTENIDAS BAJANDO EL NIVEL DEL LÍQUIDO POR DEBAJO DE LA ZONA DE INTERÉS.

LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE EXPLOTACIÓN SON UN MEDIO - INDIRECTO PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DE LAS FORMACIONES ATRAVEZADAS POR LOS BARRENOS.

EL REGISTRO SÓNICO DE AMPLITUD HA SIDO USADO EN LA TERMINACIÓN DE POZOS PARA PROVEER INFORMACIÓN SOBRE SUS CONDICIONES DE CEMENTACIÓN, ASÍ COMO PARA LA LOCALIZACIÓN DE FRACTURAS NATURALES.

EL REGISTRO DE INTENSIDAD O DENSIDAD VARIABLE OFRECE - OTRO MEDIO DE DETECCIÓN DE FRACTURAS; EL CUAL ES UTILIZADO COMO COMPLEMENTO DEL REGISTRO SÓNICO DE CEMENTACIÓN, LA INFORMACIÓN - OBTENIDA DE ESTE REGISTRO (DENSIDAD VARIABLE) ES CUALITATIVA, BASADA GENERALMENTE EN LA COMPARACIÓN DEL REGISTRO CON ANÁLISIS DE NÚCLEOS Y DATOS DE PERFORACIÓN.

EL REGISTRO DE DOBLE INDUCCIÓN (2IL) Y EL LATEROLOG 8 (LL-8) EN COMBINACIÓN, SON ÚTILES PARA DETECTAR LA PRESENCIA DE FRACTURAS.

III.1.- ANÁLISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS DE PRESIÓN EN POZOS - GEOTERMICOS.

EL OBJETIVO ESENCIAL EN EL ANÁLISIS DE PRUEBAS DE PRESIÓN EN POZOS ES EL DE DETERMINAR EN FORMA INDIRECTA UNA O MÁS - DE LAS PROPIEDADES DEL YACIMIENTO. LOS DATOS DE PRESIÓN NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS SE OBTIENEN REGISTRANDO LA PRESIÓN DEL POZO CONTRA EL TIEMPO DESPUÉS DE QUE SE PRODUCE UN CAMBIO EN EL -- GASTO.

A PARTIR DEL ANÁLISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS DE PRESIÓN, SE PUEDE OBTENER LA SIGUIENTE INFORMACIÓN, ENTRE OTROS DATOS:

- 1.- EL PRODUCTO DEL ESPESOR Y LA PERMEABILIDAD (kh) - EN EL VOLUMEN DE DRENE EL POZO Y LA PERMEABILIDAD (k).
- 2.- LAS CONDICIONES DEL POZO, REPRESENTADO POR EL FAC

TOR DE DAÑO (s) .

- 3.- PRESIÓN PROMEDIO DENTRO DEL VOLUMEN DRENADO (p) .
- 4.- LA POROSIDAD DEL VOLUMEN DE DRENE (ϕ) .
- 5.- VOLUMEN DE POROS DEL YACIMIENTO (V_p) Y SU FORMA .
- 6.- DISCONTINUIDADES DE LOS YACIMIENTOS Y LOS FLUIDOS (CARENCIAS, ETC.) .

ESTA INFORMACIÓN SERÍA EXTREMADAMENTE ÚTIL COMO AYUDA PARA ANALIZAR, MEJORAR Y PRONOSTICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL YACIMIENTO.

PARA LLEVAR A CABO EL ANÁLISIS DE LAS PRESIONES DE FONDO REGISTRADAS, ES IMPORTANTE EL SELECCIONAR U OBTENER UNA EXPRESIÓN MATEMÁTICA ADECUADA QUE PUEDA EMPLEARSE PARA PROPÓSITOS DE INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS. EN LA OBTENCIÓN DE ESTA EXPRESIÓN MATEMÁTICA SE TIENEN QUE EMPLEAR LAS LEYES FÍSICAS ADECUADAS PARA EL CASO, Y RESOLVERLAS SIMULTÁNEAMENTE DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DEL PROBLEMA EN CUESTIÓN.

PARA LA CARACTERIZACIÓN CORRECTA DE UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO ES IMPORTANTE QUE SUS PROPIEDADES, PERMEABILIDAD, POROSIDAD Y COMPRESIBILIDAD, SEAN DETERMINADAS A LAS CONDICIONES REA--

LES DE PRESIÓN, TEMPERATURA Y SATURACIÓN EXISTENTES EN EL YACIMIENTO. ÉSTAS PROPIEDADES PUEDEN TAMBIÉN ESTIMARSE EN EL LABORATORIO EMPLEANDO UNA MUESTRA (NÚCLEO) DE LA ROCA DEL YACIMIENTO, PERO LOS RESULTADOS OBTENIDOS NO SON NECESARIAMENTE CONFIABLES - POR VARIOS MOTIVOS, ENTRE ELLOS QUE LA MUESTRA REPRESENTA UNA -- FRACCIÓN INFINITESIMAL CON RESPECTO AL TAMAÑO DEL YACIMIENTO Y A LOS POSIBLES CAMBIOS QUE ÉSTA PUEDE EXPERIMENTAR AL PASAR DE CONDICIONES DEL YACIMIENTO A CONDICIONES DEL LABORATORIO. EL ANÁLISIS DE LAS PRESIONES REGISTRADAS EN LOS POZOS PERMITE OBTENER ESTOS PARÁMETROS A LAS CONDICIONES REALES DEL YACIMIENTO. ADEMÁS DE ESTOS PARÁMETROS DEL YACIMIENTO ANTERIORMENTE MENCIONADOS, -- POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE PRESIONES TAMBIÉN SE PUEDE ESTIMAR LA NECESIDAD DE ESTIMULACIÓN DEL POZO, Y SI SE LLEVA A CABO, DETERMINAR SI ÉSTA FUE O NO SATISFACTORIA; EL GRADO DE COMUNICACIÓN - (INTERFERENCIA) ENTRE LOS POZOS; PRESIÓN PROMEDIO EN EL ÁREA DE DRENE DEL POZO O EN EL YACIMIENTO; DIMENSIÓN DEL YACIMIENTO, ETC.

LOS TIPOS MÁS COMUNES DE PRUEBAS DE PRESIÓN PARA POZOS DE PRODUCCIÓN O DE INYECCIÓN SON LOS SIGUIENTES:

A) POZOS DE PRODUCCION.

1.- PRUEBA DE DECREMENTO DE PRESIÓN.

2.- PRUEBA DE INCREMENTO DE PRESIÓN.

3.- PRUEBA DE DECREMENTO A DOS GASTOS.

B) POZOS DE INYECCION.

1.- PRUEBAS DE INYECTIVIDAD.

2.- PRUEBAS DE DECREMENTO EN POZOS DE INYECCIÓN.

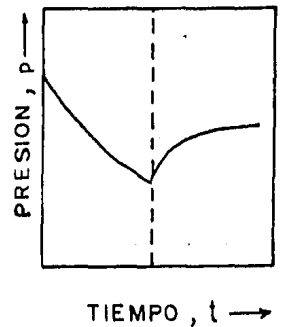
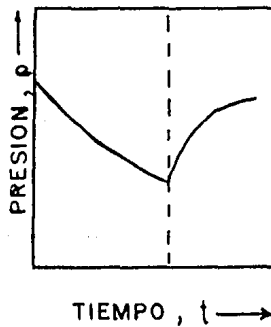
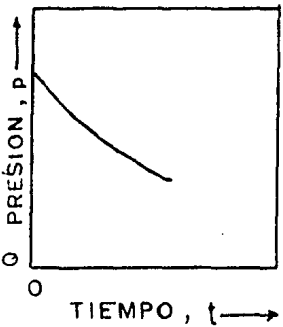
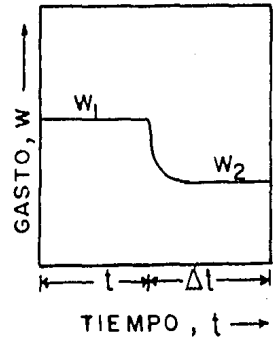
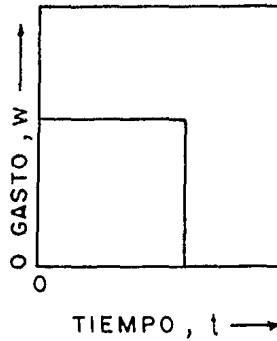
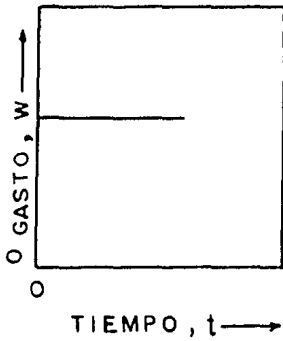
LA FIGURA III.1. MUESTRA LA VARIACIÓN DEL GASTO MÁSSICO Y LA CORRESPONDIENTE VARIACIÓN DE LA PRESIÓN p_w PARA EL CASO DE LAS PRUEBAS EN POZOS DE PRODUCCIÓN.

LA FIGURA III.1.A) PRESENTA RESULTADOS PARA UNA PRUEBA DE DECREMENTO DE PRESIÓN, EN LA CUAL EL POZO PRODUCE CON UN GASTO CONSTANTE w . LA FIGURA III.1.B) MUESTRA RESULTADOS PARA UNA PRUEBA DE INCREMENTO DE PRESIÓN, EN LA CUAL EL POZO PRODUJO UN GASTO w HASTA CERRARSE A UN TIEMPO t . EN LA FIGURA III.1.C) SE PRESENTAN RESULTADOS PARA UNA PRUEBA DE DECREMENTO A DOS GASTOS; EL POZO PRODUCE CON UN GASTO w_1 HASTA UN TIEMPO t EL CUAL SE CAMBIA SU GASTO A w_2 .

EN LAS PRUEBAS DE PRESIÓN DISCUTIDAS PREVIAMENTE SOLAMENTE SE EMPLEA UN POZO. HAY PRUEBAS LLAMADAS MÚLTIPLES EN LAS CUALES INTERVIENE MÁS DE UN POZO, COMO SON LAS DE INTERFERENCIA O LAS PULSANTES (FIGURA III.2.) ESTE TIPO DE PRUEBAS SE EMPLEA

PARA CUANDO SE DESEA CONOCER EL GRADO DE COMUNICACIÓN O INTERFERENCIA ENTRE LOS POZOS DEL YACIMIENTO O DATOS TALES COMO LA POROSIDAD, LA CUAL NO PUEDE OBTENERSE DE PRUEBAS QUE EMPLEAN UN SOLO POZO.

FIGURA III.1.
REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA VARIACION DEL GASTO
Y DE LA PRESION DE FONDO DEL POZO

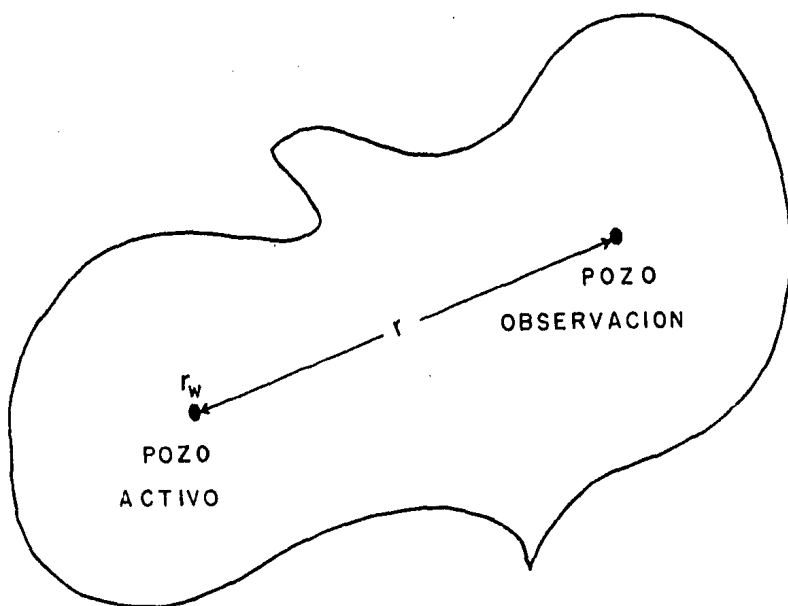


A) Prueba de decremento de presión

B) Prueba de incremento de presión

C) Prueba de decremento de presión

FIGURA III.2.
ESQUEMA DE UN POZO ACTIVO Y UN POZO EN OBSERVACION
EN UNA PRUEBA DE INTERFERENCIA



LAS PRUEBAS DE INCREMENTO Y DECREMENTO DE LA PRESIÓN - SE REALIZAN EN POZOS DE PRODUCCIÓN, SU EQUIVALENTE EN POZOS DE INYECCIÓN SON LA INYECTIVIDAD Y LAS PRUEBAS DE DECREMENTO EN POZOS DE INYECCIÓN. UNA PRUEBA DE INYECTIVIDAD CONSISTE EN UNA SERIE DE MEDICIONES DE PRESIÓN EN EL FONDO DEL POZO, p_{wf} , HECHAS EN UN PERÍODO DE TIEMPO CON LA INYECCIÓN A GASTO CONSTANTE. EL TIPO DE INFORMACIÓN QUE PUEDE SER OBTENIDA DEL ANÁLISIS DE ESAS PRUEBAS ES LA MISMA QUE PROPORCIONAN LAS PRUEBAS DE DECREMENTO.

UNA PRUEBA DE DECREMENTO EN POZOS DE INYECCIÓN CONSISTE EN UNA SERIE DE MEDICIONES DE LA PRESIÓN EN EL FONDO DEL POZO HECHAS INMEDIATAMENTE ANTES Y DESPUÉS, EN TIEMPOS Δt , DE DETENER LA INYECCIÓN. LA PRUEBA DE DECREMENTO EN POZOS DE INYECCIÓN MÁS SIMPLE ES CUANDO EL GASTO DE INYECCIÓN, w , ES CONSTANTE, HASTA QUE EL POZO SE CIERRE EN UN TIEMPO t . LA INFORMACIÓN QUE SE OBTIENE DE ESTAS PRUEBAS ES LA MISMA QUE SE OBTIENE DE LAS PRUEBAS DE INCREMENTO DE PRESIONES.

III.2.- ANÁLISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS PARA POZOS DE VAPOR.

DEBIDO A QUE EL FLUJO DE UNA SOLA FASE (VAPOR O AGUA CALIENTE) EN LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS ES ISOTÉRMICO, LAS TÉCNICAS DEL ANÁLISIS DE LA PRESIÓN TRANSITORIA ESTÁN BASADAS EN --

UNA ANALOGÍA ESTRICTA HECHA POR LOS INGENIEROS PETROLEROS E HIDROLOGOS A LAS TÉCNICAS DE FLUJO ISOTERMAL DE FASE SIMPLE, ESTO ES: EL FLUJO LAMINAR DE UN FLUIDO LIGERAMENTE COMPRESIBLE EN UN YACIMIENTO RADIAL, HORIZONTAL E ISOTRÓPICO, BAJO LA CONDICIÓN DE PEQUEÑOS GRADIENTES DE PRESIÓN EN EL YACIMIENTO Y APLICABLE LA LEY DE DARCY, Y SUPONIENDO ADEMÁS QUE LAS PROPIEDADES DE LA ROCA Y EL FLUIDO SON INDEPENDIENTES DE LA PRESIÓN ESTÁ EXPRESADO POR LA ECUACIÓN DE DIFUSIVIDAD (MUSKAT, 1938; MATTHEWS Y RUSSELL, 1967; EARLOUGHER, 1977).

POR CONVENIENCIA, LA SOLUCIÓN A ESE PROBLEMA DEL FLUJO DEL FLUIDO EN EL YACIMIENTO ESTÁ USUALMENTE EXPRESADO EN FORMA ADIMENSIONAL. LOS SIGUIENTES GRUPOS DE FÓRMULAS HAN SIDO DEFINIDOS POR RAMEY Y GRINGARTEN (1975), Y DONDE C Y B SON UNIDADES -- CONSTANTES (VER TABLA VII).

PRESION ADIMENSIONAL PARA FLUJO DE VAPOR

$$p_D(r_D, t_D) = \frac{Mkh(p_i^2 - p^2)}{a w Z T \mu} \quad (1)$$

TIEMPO ADIMENSIONAL

$$t_D = \frac{Bkt}{\phi \mu c_e r_w} \quad (2)$$

DISTANCIA RADIAL ADIMENSIONAL

$$r_D = \frac{r}{r_w} \quad (3)$$

LA PRESIÓN EN EL YACIMIENTO DE CUALQUIER PUNTO EN EL ESPACIO Y EL TIEMPO PUEDE SER ESTIMADA CON LA ECUACIÓN (1) SI SE CONOCE LA p_D PARA EL SISTEMA BAJO CIERTAS CONSIDERACIONES. LA PRESIÓN ADIMENSIONAL p_D ES FUNCIÓN DEL TIPO DE SISTEMAS, INFINITO O FINITO, Y DE LAS CONDICIONES DE FRONTERA, GASTO O PRESIÓN ESPECÍFICA.

APLICANDO EL PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN A LA SOLUCIÓN DE "LÍNEA FUENTE" DE LA ECUACIÓN DE DIFUSIVIDAD, PARA UN YACIMIENTO INFINITO CON UN SOLO POZO QUE HA PRODUCIDO UNIFORMEMENTE A UN GASTO w , LA p_D PUEDE SER EXPRESADA POR (EARLOUGH, 1977):

$$p_D(r_D, t_D) = -\frac{1}{2} Ei\left(-\frac{r_D^2}{4t_D}\right) \quad (4)$$

COMBINANDO LAS ECUACIONES (1), (2), (3) Y (4), Y USANDO LA APROXIMACIÓN LOGARÍTMICA EN LA INTEGRAL EXPONENCIAL, ADemás $r = r_w$, SE OBTIENE LA EXPRESIÓN PARA LA PRESIÓN DEL POZO:

$$p_{wf}^2 = p_i - 1.1513 \alpha \frac{w \mu Z T}{M k h} \left[\log \frac{k h}{\phi \mu c_t r_w^2} + \log \frac{4B}{\gamma} + 0.86859S \right] \quad (5)$$

DONDE:

$$\gamma = 1.7810724$$

ESTA EXPRESIÓN PUEDE SER USADA PARA INTERPRETACIÓN DE UNA PRUEBA DE DECREMENTO EN UN YACIMIENTO DE VAPOR. SI SE GRAFICA p_w^2 CONTRA $\log t$ SE OBSERVARÁ QUE ÉSTA DESCRIBE UNA LÍNEA RECTA (GRÁFICA SEMILOGARÍTMICA) CON PENDIENTE m , DADA POR LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

$$m = \frac{1.1513 \alpha w Z T}{M k h} \quad (6)$$

A PARTIR DE ESTA ECUACIÓN SE PUEDE OBTENER LA CAPACIDAD DE LA FORMACIÓN:

$$k h = \frac{1.1513 \alpha w Z T}{M m} \quad (7)$$

REAGRUPANDO LA ECUACIÓN (5), SE PUEDE OBTENER UNA EXPRESIÓN PARA EL FACTOR DE DAÑO, S :

$$S = 1.1513 \left[\frac{p_i^2 - p_{ihr}^2}{m} - \log \frac{k}{\phi \mu c_t r_w^2} - \log \frac{4B}{\gamma} \right] \quad (8)$$

PARA PRUEBAS DE INCREMENTO DE LA PRESIÓN, LA PRESIÓN EN EL FONDO DEL POZO CERRADO, PARA UN POZO EN PRODUCCIÓN CON UN GASTO w HASTA UN TIEMPO t (FIGURA III.1.B) Y A UN GASTO CERO MÁS TARDE PUEDE SER EXPRESADA COMO

$$p_{ws}^2 = p_i^2 - \alpha \frac{w \mu Z T}{M k h} \left[p_D(t + \Delta t)_D - p_D(\Delta t) \right] \quad (9)$$

PARA CUALQUIER TIEMPO DESPUÉS DE CERRADO EL POZO.

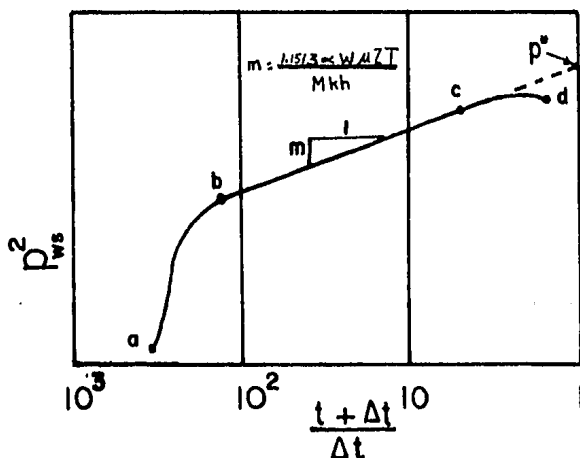
SUSTITUYENDO LA ECUACIÓN (5) EN LA ECUACIÓN (9):

$$p_{ws}^2 = p_i^2 - m \log\left(\frac{t+\Delta t}{\Delta t}\right) \quad (10)$$

ESTA ECUACIÓN PUEDE SER USADA PARA LA INTERPRETACIÓN - DE PRUEBAS DE INCREMENTO DE LA PRESIÓN. DESCRIBE UNA LÍNEA RECTA RELACIONANDO p_{ws}^2 CONTRA $\log(t+\Delta t)/\Delta t$ CUYA PENDIENTE m ESTÁ DADA POR LA ECUACIÓN (6). LA FIGURA III.3, MUESTRA UNA GRÁFICA HORNER DE LOS DATOS DE LA PRESIÓN INCREMENTADA.

FIGURA III.3.

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA GRAFICA HORNER PARA DAÑOS DE INCREMENTO DE PRESION



- a-b DATOS EN UN TIEMPO CORTO
- b-c PORCION DE LA LINEA RECTA
- c-d EFECTOS DE FRONTERA

CUANDO SE TIENE UN POZO EN UN YACIMIENTO LIMITADO, SE TIENE UNA CAÍDA DE PRESIÓN ADICIONAL A LA DE UN YACIMIENTO INFINITO, ORIGINADA POR EL HECHO DE QUE NINGÚN FLUIDO FLUYE A TRAVÉS DE LA FRONTERA EXTERIOR. EXTRAPOLANDO LA LÍNEA RECTA DE LA ECUACIÓN (10) HASTA EL VALOR DE $(t+\Delta t)/\Delta t = 1$, SE OBTIENE EL VALOR DE LA PRESIÓN TOTAL DE INCREMENTO, LA CUAL ES IGUAL A LA PRESIÓN INICIAL (p_i) CUANDO SE TRATA DE UN YACIMIENTO INFINITO Y SI ES UN YACIMIENTO CERRADO, SE ENCUENTRA p^* (PRESIÓN EXTRAPOLADA) QUE ES MENOR A p_i .

EL FACTOR DE DAÑO, s , PUEDE TAMBIÉN SER ESTIMADO A PARTIR DE UN ANÁLISIS DE INCREMENTO DE PRESIÓN. COMBINANDO LAS ECUACIONES (5) Y (10) SE OBTIENE LA EXPRESIÓN PARA ESTE FACTOR:

$$s = 1.1513 \left[\frac{p_{1hr}^2 - p_{wf}^2(\Delta t=0)}{m} - \log \frac{k}{\phi \mu c_t r_w^2} - \log \frac{4B}{\gamma} \right] \quad (11)$$

EN ESTA EXPRESIÓN, $p_{wf}^2(\Delta t=0)$ ES LA PRESIÓN DEL FLUIDO MEDIDA EN EL FONDO DEL POZO INMEDIATAMENTE ANTES DE CERRARSE. LA PRESIÓN p_{1hr}^2 DEBE SER OBTENIDA DE LA PORCIÓN DE LA LÍNEA RECTA, DE LA PRUEBA DE INCREMENTO DE PRESIÓN, UNA HORA DESPUÉS DE CERRARSE, O SE EXTRAPOLA SI AÚN NO HA SIDO ALCANZADA (LA RECTA) EN ESE TIEMPO. ÉSTO TAMBIÉN ES VÁLIDO PARA OTRO TIPO DE PRUEBAS, COMO PARA LAS PRUEBAS DE DECREMENTO PREVIAMENTE DISCUTIDAS.

III.3.- ANALISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS PARA POZOS DE AGUA CALIENTE.

NUEVAMENTE, SE SUPONE QUE EL FLUJO EN EL YACIMIENTO ESTÁ APROXIMADAMENTE DESCRITO POR LA ECUACIÓN DE DIFUSIVIDAD. PARA EL PROBLEMA DEL FLUJO DEL AGUA CALIENTE EN EL YACIMIENTO LA PRESIÓN ADIMENSIONAL HA SIDO DEFINIDA POR RAMEY (1975) COMO LA SIGUIENTE:

$$p_D(r_D, t_D) = \frac{kh(p_i - p)}{\delta V_{sc} w B \mu} \quad (12)$$

DONDE δ ES UNA CONSTANTE DE CONVERSIÓN (TABLA VII).

PARA UN POZO EN PRODUCCIÓN A UN GASTO CONSTANTE w , Y CONSIDERANDO VÁLIDAS TODAS LAS SUPOSICIONES MENCIONADAS PARA EL PROBLEMA DEL FLUJO DE VAPOR EN EL YACIMIENTO, LA EXPRESIÓN PARA LA PRESIÓN DEL POZO SE OBTIENE COMBINANDO LA ECUACIÓN (12) CON LA ECUACIÓN (4), CON LA CONDICIÓN $r = r_w$ Y ES:

$$p_{wf} = p_i - 1.1513 \delta \frac{V_{sc} w B \mu}{kh} \left[\log \frac{kt}{\phi \mu c_i r_w^2} + \log \frac{4B}{\gamma} + 0.86859 S \right] \quad (13)$$

ESTA ECUACIÓN PUEDE SER USADA PARA INTERPRETAR PRUEBAS DE DECREMENTO DE PRESIÓN EN UN YACIMIENTO DE AGUA CALIENTE. TEÓRICAMENTE, DE ACUERDO A LA ECUACIÓN (13), UNA GRÁFICA DE LOS DATOS DE LA PRESIÓN DEL FLUIDO EN EL FONDO DEL POZO CONTRA EL LOGARITMO DEL TIEMPO SERÁ UNA RECTA, CON PENDIENTE DADA POR LA SI-

GUIENTE EXPRESIÓN:

$$m = \frac{1.1513 \delta V_{sc} W B \mu}{k h} \quad (14)$$

DE ESTA EXPRESIÓN SE OBTIENE LA CAPACIDAD DE LA FORMACIÓN:

$$k h = \frac{1.1513 \delta V_{sc} W B \mu}{m} \quad (15)$$

LA EXPRESIÓN PARA EL FACTOR DE DAÑO, S , SE OBTIENE REAGRUPANDO LA ECUACIÓN (13):

$$S = 1.1513 \left[\frac{P_i - P_{thr}}{m} - \log \frac{k}{\phi \mu c_t r_w^2} - \log \frac{4B}{\gamma} \right] \quad (16)$$

LAS BASES PARA EL ANÁLISIS DE DECREMENTO DE LA PRESIÓN ES EL PRINCIPIO DE SUPERPOSICION. SIGUIENDO UN PROCEDIMIENTO SIMILAR AL DEL PROBLEMA DEL FLUJO EN UN YACIMIENTO DE VAPOR, SE OBTIENE LA EXPRESIÓN PARA LA PRESIÓN DEL FONDO DEL POZO CERRADO -- (p_{ws}):

$$p_{ws} = p_i - m \log \left(\frac{t + \Delta t}{\Delta t} \right) \quad (17)$$

ESTA ECUACIÓN PUEDE SER USADA PARA LA INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS DE INCREMENTO DE UN YACIMIENTO DE AGUA CALIENTE.

TEÓRICAMENTE LA GRÁFICA DE p_{ws} CONTRA $\log(t + \Delta t) / \Delta t$

DARÁ UNA RECTA CON UNA PENDIENTE DADA POR LA ECUACIÓN (14).

EL FACTOR DE DAÑO, S , TAMBIÉN SE PUEDE ESTIMAR A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INCREMENTO DE PRESIÓN. COMBINANDO LAS ECUACIONES (13) Y (17) OBTENEMOS DICHO FACTOR:

$$S = 1.1513 \left[\frac{P_{hr} - P_{wf} (\Delta t = 0)}{m} - \log \frac{k}{\phi \mu c_r r_w^2} - \log \frac{4B}{\gamma} \right] \quad (18)$$

III.4.- FACTOR DE RESISTIVIDAD DE LA FORMACION.

LA MAYORÍA DE LAS TÉCNICAS DE INTERPRETACIÓN Y ECUACIONES COMUNES PARA LOS REGISTROS DE POZOS SON DESARROLLADAS PARA LOS YACIMIENTOS PETROLEROS Y NO SON NECESARIAMENTE APLICABLES A LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS. POR EJEMPLO, ES DE Poca VALIDEZ -- USAR LAS ECUACIONES COMUNES, COMO LA FÓRMULA DE ARCHIE O LA FÓRMULA DE HUMBLE EN UN YACIMIENTO VOLCÁNICO GEOTÉRMICO FRACTURADO. ALGUNOS DE LOS CONCEPTOS DE GRÁFICAS CRUZADAS NO SON APLICABLES PARA LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS. EL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL AGUA DE LA FORMACIÓN (R_w) A PARTIR DE LOS REGISTROS SP O RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE UN POZO GEOTÉRMICO PUEDE NO SER REPRESENTATIVA.

EN 1942 G.E. ARCHIE PUBLICÓ UN ARTÍCULO BAJO EL TÍTULO "THE ELECTRICAL RESISTIVITY LOG AS AN AID IN DETERMINING SOME -- RESERVOIR CHARACTERISTICS" (EL REGISTRO ELÉCTRICO DE RESISTIVIDAD COMO AYUDA EN LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN YACIMIENTO). LAS RELACIONES EMPÍRICAS QUE ARCHIE PRESENTA EN ESTE ARTÍCULO SON LAS MISMAS QUE SE USAN HOY EN DÍA Y RECIBEN EL NOMBRE DE ECUACIONES DE ARCHIE.

ARCHIE DEMUESTRA PRIMERO CON NÚCLEOS QUE EL FACTOR DE RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN, LA RESISTIVIDAD DEL AGUA Y LA RESISTIVIDAD DE LA ROCA ESTÁN RELACIONADAS MEDIANTE LA EXPRESIÓN:

$$F = \frac{R_o}{R_w} \quad (19)$$

Y QUE ESTA RELACIÓN ES VÁLIDA PARA AMPLIAS VARIACIONES TANTO EN LA POROSIDAD COMO EN LA SALINIDAD DEL AGUA.

POSTERIORMENTE, EL AUTOR DEMUESTRA QUE EL FACTOR DE RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN Y LA POROSIDAD SE HALLAN RELACIONADOS MEDIANTE LA EXPRESIÓN:

$$F = \frac{a}{\phi^m} = \frac{R_o}{R_w} \quad (20)$$

DONDE:

R_o = RESISTIVIDAD DE LA ROCA.

R_w = RESISTIVIDAD DEL FLUIDO DE LA FORMACIÓN.

a = CONSTANTE DE PORCIONALIDAD.

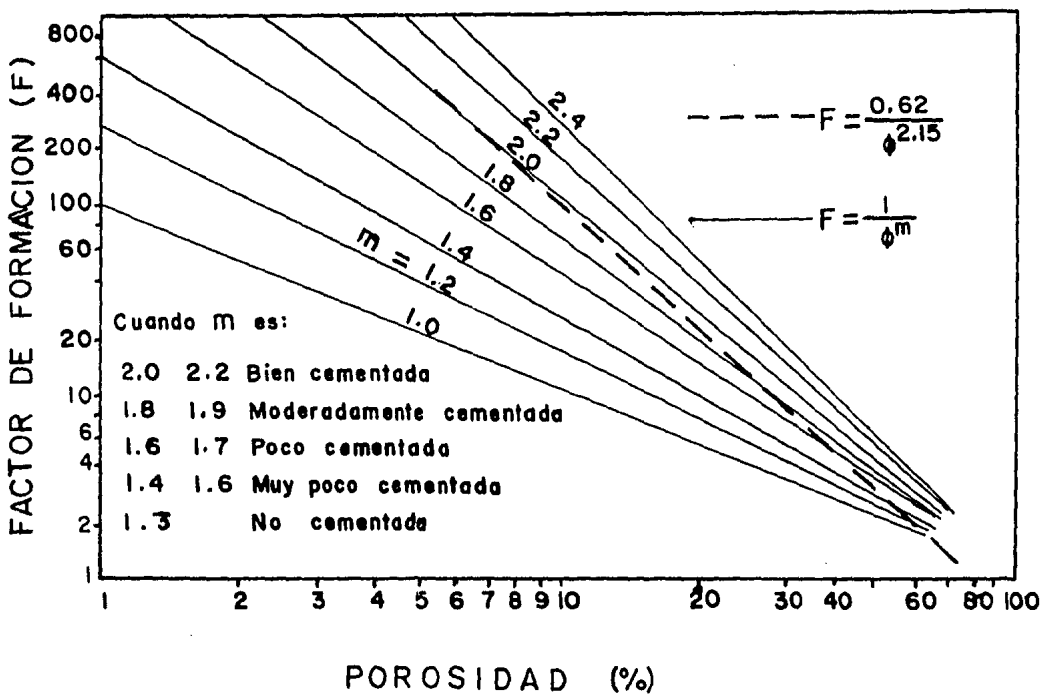
ϕ = POROSIDAD TOTAL DE LA ROCA.

m = FACTOR QUE DEPENDE DEL GRADO DE CONSOLIDACIÓN
DE LA ROCA.

EL FACTOR m RECIBE EL NOMBRE DE FACTOR DE CEMENTACIÓN O EXPONENTE DE CEMENTACIÓN. EL VALOR DE m VARÍA ENTRE 1.3 Y 2.3 SEGÚN EL TIPO DE ROCA.

EXISTEN MONOGRAMAS PARA PODER CALCULAR CUALQUIERA DE -
LOS PARÁMETROS F , ϕ O m CONOCIENDO "a" Y DOS DE ELLOS; "a" ES UN
NÚMERO MUY CERCANO A LA UNIDAD QUE VARÍA DE 0.6 A 1.4, (VER FIGU-
RA III.4).

FIGURA III.4
 MONOGRAMA DEL FACTOR DE RESISTIVIDAD DE
 LA FORMACION, F , POROSIDAD, ϕ , Y EL FACTOR DE CEMENTACION, m



LA APLICACIÓN DE LA LEY DE ARCHIE PARA VARIOS TIPOS DE ROCAS FUE ESTUDIADA POR PARKHOMENKO, 1976; LAVUGAN B.B., 1980; - MEIDAY T., 1980. DE SUS EXPERIENCIAS SE PRESENTA LA SIGUIENTE - RELACIÓN DE FÓRMULAS:

III.4.1.- LEY DE ARCHIE PARA DIFERENTES TIPOS DE ROCAS.

- A) ROCAS DETRITICAS DÉBILMENTE CEMENTADAS, ARENA, -- ARENISCAS Y CALIZA CON UN RANGO DE POROSIDAD DEL - 25 AL 45 %.

$$F = 0.88 \phi^{-1.37}$$

- B) ROCAS SEDIMENTARIAS CON CEMENTACIÓN QUE VARÍA DE - MODERADA A BIEN CEMENTADA CON UN RANGO DE POROSI-- DAD DE 18 A 35 %.

$$F = 0.62 \phi^{-1.72}$$

- C) ROCAS SEDIMENTARIAS BIEN CONSOLIDADA CON UN RANGO DE POROSIDAD DEL 5 AL 25 %.

$$F = 0.62 \phi^{-1.95}$$

- D) ROCA VOLCANICA CON GRAN CONTENIDO DE POROS como --
LAS TOBAS O LAVAS CON UN RANGO DE POROSIDAD DEL 20
AL 80%.

$$F = 3.5 \phi^{-1.44}$$

- E) ROCAS IGNEAS Y SEDIMENTARIAS O METAMORFICAS CON --
UNA POROSIDAD MENOR QUE EL 10%.

$$F = 1.4 \phi^{-1.55}$$

PARA OBTENER EL FACTOR DE RESISTIVIDAD DE LA FORMACIÓN ES NECESARIO CONOCER EL VALOR DE LA POROSIDAD. SE PUEDE TENER UN VALOR APROXIMADO DE ESTE PARÁMETRO A PARTIR DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS, POR EJEMPLO, DEL SÓNICO DE POROSIDAD Y OTROS.

EL PROPÓSITO DE ESTE CAPÍTULO FUE EL DE SUMINISTRAR UN BREVE ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS DISPONIBLES (ALGUNAS) PARA LA PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO. LOS DATOS DE UN BUEN ANÁLISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS DE PRESIÓN REPRESENTAN LAS CONDICIONES ACTUALES DEL YACIMIENTO, Y SON EXTREMADAMENTE ÚTILES PARA EL INICIO DEL ESTUDIO DE LA SIMULACIÓN DE YACIMIENTOS.

NOMENCLATURA

- α = FACTOR DE CONVERSIÓN
 a = CONSTANTE DE PROPORCIONALIDAD
 B = FACTOR DE CONVERSIÓN.
 C_t = COMPRESIBILIDAD TOTAL $(\text{Kg}/\text{cm}^2)^{-1}$
 h = ESPESOR DE LA FORMACIÓN (m)
 k = PERMEABILIDAD ABSOLUTA (md)
 kh = CAPACIDAD DE LA FORMACIÓN (md·m)
 m = PENDIENTE $(\text{Kg}/\text{cm}^2/\text{ciclo})$
 M = PESO MOLECULAR (gr/Mol)
 p = PRESIÓN (Kg/cm^2)
 p_D = PRESIÓN ADIMENSIONAL
 p_i = PRESIÓN INICIAL (Kg/cm^2)
 p_{wf} = PRESIÓN DEL FLUIDO DEL POZO (Kg/cm^2)
 p_{ws} = PRESIÓN DEL POZO CERRADO (Kg/cm^2)
 r = RADIO (m)
 r_D = RADIO ADIMENSIONAL

r_w = RADIO DEL POZO (m)

R_o = RESISTIVIDAD DE LA ROCA (ohm-m)

R_w = RESISTIVIDAD DEL AGUA DE LA FORMACIÓN (ohm-m)

S = FACTOR DE DAÑO

t = TIEMPO (HORAS)

t_D = TIEMPO ADIMENSIONAL

T = TEMPERATURA ($^{\circ}K$)

W = RAZÓN DE PRODUCCIÓN (Tons/hr)

Δt = TIEMPO DE LA PRUEBA (hrs.)

F = CONSTANTE IGUAL A 1.7810724

δ = FACTOR DE CONVERSIÓN

μ = VISCOSIDAD (cp)

Φ = POROSIDAD (FRACCIÓN)

E_i = INTEGRAL EXPONENCIAL

$$E_i(-x) = -\int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

VCS = VOLUMEN ESPECÍFICO (CONDICIONES NORMALES) (cm^3/GR)

CAPITULO IV

INTERPRETACION

LAS ACTIVIDADES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA, RADIOACTIVA, EXPLORACIÓN MINERA, INGENIERÍA GEOLÓGICA Y LA EXPLORACIÓN DE LA CORTEZA TERRESTRE SE VEN INCREMENTADAS POR LA NECESIDAD DE PERFORACIONES GEOFÍSICAS EN ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS. PUES EXISTE UNA NOTABLE CARENCIA DE INVESTIGACIÓN Y LITERATURA RESPECTO A POZOS GEOFÍSICOS Y AL ANÁLISIS DE REGISTROS DE POZOS HECHOS EN ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS. ESTO ES ATRIBUIBLE A QUE CASI TODAS LAS INVESTIGACIONES Y APLICACIÓN DE POZOS GEOFÍSICOS A LA FECHA HAN SIDO RELACIONADOS A LA EXPLORACIÓN Y DESARROLLO PETROLERO, - QUE ESTÁ CONSIDERABLEMENTE LIMITADO A ROCAS SEDIMENTARIAS.

LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS GENERALMENTE PRESENTAN DIFERENTES PROPIEDADES PETROFÍSICAS, TALES COMO POROSIDAD, DENSIDAD, RESISTIVIDAD Y MINERALOGÍA, QUE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS. POR ESTA RAZÓN TODAS LAS TÉCNICAS DE INTERPRETACIÓN DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS CONVENCIONALES PUEDEN NO SER ÚTILES PARA TALES PROPIEDADES PETROFÍSICAS. LA MAYORÍA DE LOS TEXTOS SOBRE EVALUACIÓN DE LA FORMACIÓN Y ANÁLISIS DE REGISTROS DE POZOS NO HACEN MENCIÓN DE ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS; ADEMÁS, A PESAR DE LA GRAN CANTIDAD DE TÉCNICAS DE INTERPRETACIÓN QUE EXISTEN, NO SE HA AVANZADO MUCHO EN ESTA RAMA.

LAS PROPIEDADES PETROFÍSICAS DE LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS PUEDEN SER MUY COMPLEJAS. ES RECOMENDABLE QUE LOS -- ANALISTAS DE REGISTROS DE POZOS QUIENES TRABAJAN CON TALES ROCAS, LLEGUEN A CONOCER A FONDO O FAMILIARIZARCE CON LA COMPOSICIÓN, - TEXTURAS Y ESTRUCTURAS QUE PUEDAN ENCONTRARSE.

EN LA MAYORÍA DE LAS ROCAS ÍGNEAS EL SILICIO Y EL ALUMINIO SON LOS CONSTITUYENTES MAYORES, Y CON MENORES CANTIDADES - PERO SIGNIFICANTES DE METALES ALCALINOS, SODIO Y POTASIO, Y MENOR CANTIDAD DE CALCIO, HIERRO Y MAGNESIO. EL COLOR OSCURO DE LAS ROCAS BÁSICAS PUEDEN CONTENER SIGNIFICANTES PORCENTAJES DE - MINERALES FERROMAGNÉTICOS PESADOS QUE AFECTARÁN A LOS REGISTROS DE GAMMA-GAMMA (DENSIDAD).

EL TAMAÑO PROMEDIO DE LOS CRISTALES ESTÁ DETERMINADO - POR LA RAZÓN DE ENFRIAMIENTO. EL ENFRIAMIENTO LENTO, QUE GENERALMENTE OCURRE EN PROFUNDIDADES SIGNIFICANTES BAJO LA SUPERFICIE DE LA TIERRA, PRODUCE ROCAS DE GRANO GRUESO, Y RÁPIDO ENFRIAMIENTO, CERCA A UN CONTACTO "FRÍO" PRODUCE ROCAS DE GRANO FINO.

LA CLASIFICACIÓN GENÉTICA Y LA RESPUESTA DE LOS REGISTROS DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS SON MÁS COMPLEJAS QUE LAS ROCAS ÍGNEAS. LAS TEXTURAS METAMÓRFICAS PRIMARIAS TAL COMO MASIVA, PIZARROZA, ESQUISTOZA O GNEISICA PUEDE AFECTAR LA RESPUESTA DE LOS REGISTROS.

LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y EL FRACTURAMIENTO SON LOS DOS MEJORES RASGOS SECUNDARIOS DE LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS QUE AFECTAN, NO SOLAMENTE LA RESPUESTA DE LOS REGISTROS, SINO QUE SON IMPORTANTES ENTRE LOS RESULTADOS ESPERADOS DEL ANÁLISIS DE LOS MISMOS. LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL PUEDE SERVIR COMO UNA GUÍA EN LOS DEPÓSITOS MINERALES Y ESTÁ RELACIONADA CON EL MOVIMIENTO PASADO Y PRESENTE DEL AGUA EN LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS. LA LOCALIZACIÓN, ORIENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FRACTURAS ES UNO DE LOS RESULTADOS MÁS IMPORTANTES QUE SE DESEAN OBTENER A PARTIR DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS EN ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS.

LA POROSIDAD INTERGRANULAR Y PERMEABILIDAD SON A MENUDO TOTALMENTE BAJAS EN TALES ROCAS, ASÍ QUE, LAS FRACTURAS SON EL PRINCIPAL CONDUCTO A TRAVÉS DEL CUAL LAS SOLUCIONES GEOTÉRMICAS, ALTERACIONES O MINERALIZACIÓN FLUYEN. ALGUNAS FRACTURAS PUEDEN SER IDENTIFICADAS POR LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS, PERO ES MÁS IMPORTANTE DETERMINAR SU ORIENTACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FRACTURAS EN TÉRMINOS DE SU CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DEL AGUA.

LA POROSIDAD PRIMARIA DE LA MAYOR PARTE DE LAS ROCAS ÍGNEAS ES GENERALMENTE MUY BAJA, PROBABLEMENTE UN PROMEDIO MENOR DEL UNO POR CIENTO; SIN EMBARGO, LOS BASALTOS VESICULARES Y DETRITOS VOLCÁNICOS. TALES COMO TOBA, PUEDEN TENER POROSIDADES MAYORES QUE SESENTA POR CIENTO.

TODOS LOS REGISTROS COMERCIALMENTE DISPONIBLES, USUALMENTE MUESTRAN ESCALAS QUE SON APROPIADAS PARA COMETER ERRORES SIGNIFICANTES EN LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS, YA QUE LOS MISMOS, ESTÁN DISEÑADOS Y CALIBRADOS PARA LAS ROCAS SEDIMENTARIAS. LAS CORRECCIONES POR EFECTO DE MATRIZ SON GENERALMENTE VÁLIDAS SÓLO PARA LAS ARSÉNICAS, CALIZAS Y DOLOMITAS; DE ESTE MODO, EN EL PRESENTE, SON NECESARIAS LAS CORRECCIONES UTILIZANDO ANÁLISIS DE NÚCLEOS PARA LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS.

IV.1.- ALTERACION HIDROTERMAL.

LA ALTERACIÓN HIDROTERMAL NO ES COMÚN EN LAS ROCAS SEDIMENTARIAS, PERO ES MUY GRANDE EN LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS, PARTICULARMENTE EN LA VECINDAD DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS Y DEPÓSITOS DE MINERALES METÁLICOS. LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS ALTERADAS PUEDE SUMINISTRAR DATOS RELACIONADOS SOBRE LA MIGRACIÓN PASADA Y PRESENTE DE LOS FLUIDOS. SI EXISTE ALTERACIÓN HIDROTERMAL A LO LARGO DE LAS FRACTURAS ES EVIDENTE QUE EL AGUA SE HA MOVIDO A TRAVÉS DE ELLAS; ADEMÁS ES POCO PROBABLE QUE GRANDES CANTIDADES DE AGUA CALIENTE PUEDAN MOVERSE A TRAVÉS DE UNA FRACTURA SIN CAUSAR ALGUNA ALTERACIÓN. LA PRESENCIA DE LA ALTERACIÓN HIDROTERMAL PUEDE SER ÚTIL EN LA EXPLORACIÓN DE DEPÓSITOS DE MINERALES METÁLICOS, PORQUE CAUSA A MENUDO

AUREOLAS ALREDEDOR DE TALES DEPÓSITOS.

LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL PUEDE SER DE MUCHOS TIPOS DEPENDIENDO DE LA COMPOSICIÓN ORIGINAL DE LA ROCA, LA ALTERACIÓN DE LOS FLUIDOS Y LA TEMPERATURA. LOS TIPOS MÁS COMUNES ENCONTRADOS EN LOS REGISTROS A LA FECHA SON ALTERACIONES DE FELDSPATOS A ARCILLA O ZEOLITAS; BIOTITA O MUSCOVITA A CLORITA; Y SILIFICACIÓN. ÉSTOS Y OTROS TIPOS DE ALTERACIÓN PUEDEN PRODUCIR CAMBIOS EN LA ROCA QUE PUEDEN SER RECONOCIDOS POR LOS REGISTROS. LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL ES UNA GUÍA DE LAS FRACTURAS PERMEABLES EN MUCHAS ÁREAS, SIN EMBARGO, ÉSTAS PUEDEN SER CONDUCTOS "FOSILIZADOS" QUE ESTÁN AHORA TAPONADOS POR MINERALES.

IV.2.- FRACTURAS.

LAS FRACTURAS SON LOS MAYORES CONDUCTOS PARA EL MOVIMIENTO DEL AGUA CALIENTE Y VAPOR DE LA MAYORÍA DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS. ÉSTO ES IMPORTANTE DE ENTENDER, PUES LAS FRACTURAS DISMINUYEN EL COSTO Y AUMENTAN LA EFICACIA DE LA EXPLORACIÓN Y DESARROLLO DEL CAMPO GEOTÉRMICO. LOS DATOS SOBRE LA LOCALIZACIÓN, ORIENTACIÓN, ANCHURA APARENTE, MOVIMIENTO DEL AGUA Y RELACIÓN DE FRACTURAS A LITOLOGÍA, DE LOS POZOS GEOTÉRMICOS, HAN SIDO OBTENIDOS DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS. LAS GRAN--

DES ABERTURAS DE LAS FRACTURAS PRODUCEN ANOMALÍAS EN UNA BUENA PARTE DE LOS REGISTROS, PERO LA CORRECTA INTERPRETACIÓN DE ESOS REGISTROS REQUIERE DE UNA ASOCIACIÓN DE ANÁLISIS DE TODOS LOS DATOS DISPONIBLES. A CAUSA DE QUE EL ANÁLISIS DE REGISTROS NO ESTÁ BIEN SOBREENTENDIDO EN LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS ALTERADAS, COMUNES EN LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS, LA INTERPRETACIÓN DE FRACTURAS EN ESTA MATRIZ ES CADA VEZ MÁS DIFÍCIL. UN NÚMERO DE TÉCNICAS DE REGISTROS DE POZOS GEOFÍSICOS PUEDEN SUMINISTRAR INFORMACIÓN DE LAS FRACTURAS, SIN EMBARGO, EL CALOR DEL MEDIO AMBIENTE EN LOS POZOS GEOTÉRMICOS Y LA FALTA DE CONOCIMIENTOS SOBRE LAS ROCAS DEL YACIMIENTO HACE DIFÍCIL LA INTERPRETACIÓN DE LOS REGISTROS. LAS TÉCNICAS ACÚSTICAS EN EL POZO CON UNA GAMA DE FRECUENCIA SON LAS MÁS ÚTILES SIEMPRE QUE LA INFORMACIÓN DE LAS FRACTURAS ESTÉ TAMBIÉN SUMADA A NUESTROS CONOCIMIENTOS POR LOS REGISTROS NUCLEAR, ELÉCTRICO, MECÁNICO Y TEMPERATURA. SE HA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE EN EL DESARROLLO Y MODIFICACIÓN DEL EQUIPO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE FRACTURAS EN POZOS DE ALTAS TEMPERATURAS.

LA INFORMACIÓN SOBRE LA PROFUNDIDAD EN QUE LAS FRACTURAS SON INTERCEPTADAS, SU DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO ES ABSOLUTAMENTE ESENCIAL PARA LA COMPRESIÓN DE LA GEOMETRÍA DE UN SISTEMA FRACTURADO. POCAS DE LAS ANOMALÍAS CAUSADAS POR LAS MAYORES ABERTURAS PUEDEN SER INTERPRETADAS CON CERTEZA, Y MUCHAS DE ELLAS SON DEBIDAS AL EFECTO DEL INCREMENTO LOCAL EN EL DIÁMETRO DEL POZO. UNA CAPA DE ESQUISTO POBREMENTE CEMENTADA O UNA ROCA

VOLCÁNICA ALTERADA HIDROTERMALMENTE PUEDE FORMAR UNA CUEVA EN EL POZO Y PRODUCIR EL MISMO TIPO DE RESPUESTA EN EL REGISTRO QUE -- UNA FRACTURA ABIERTA. DE ESTE MODO, ES IMPORTANTE CONOCER TANTO COMO SEA POSIBLE TODO ACERCA DE LAS ROCAS ATRAVEZADAS POR UN POZO Y LA RESPUESTA QUE PRODUCE EN LOS REGISTROS GEOFÍSICOS.

EL MOVIMIENTO SIGNIFICANTE DE LOS FLUIDOS CALIENTES A LO LARGO DE UNA ZONA FRACTURADA GENERALMENTE PRODUCE ALTERACIÓN HIDROTERMAL QUE PUEDE SER UNA GUÍA DE ZONAS PRODUCTORAS.

SOLAMENTE LAS SONDAS DE REGISTRO ORIENTADAS MEGNÉTICAMENTE, SEMEJANTES AL TELEVISOR ACÚSTICO (ACOUSTIC-TELEVIEWER) Y AL MEDIDOR DE ECHADOS (DIPMETER), PUEDEN SUMINISTRAR DATOS SOBRE LA DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO DE LAS FRACTURAS.

LA INFORMACIÓN SOBRE LA LOCALIZACIÓN, DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO PUEDE SER GRAFICADA COMO UNA FUNCIÓN DE SU PRODUCCIÓN; EN UN YACIMIENTO ES POSIBLE QUE LAS FRACTURAS DE UNA O VARIAS ORIENTACIONES SON LAS MÁS PRODUCTIVAS. TAL INFORMACIÓN PUEDE SER USADA COMO GUÍA EN LA EXPLORACIÓN Y DESARROLLO DE UN YACIMIENTO, -- ADEMÁS, SI SE DISPONE DE BASTANTE INFORMACIÓN DE LAS FRACTURAS, SE PODRÍAN CONSTRUIR SECCIONES TRANSVERSALES O MODELOS TRIDIMENSIONALES DE TAL FORMA QUE SE PUDIERA HACER CORRELACIONES ENTRE - POZOS.

LA CONTINUIDAD DE FRACTURAS Y SU CONEXIÓN CON OTRAS ES

IMPORTANTE EN LA DETERMINACIÓN DE SU PRODUCTIVIDAD, YA QUE LAS -
FRACTURAS QUE APARECEN EN LOS REGISTROS PUEDEN ESTAR MUY ABIER--
TAS CERCA DEL POZO Y PRODUCIR PEQUEÑOS FLUJOS DE AGUA POR CAUSA
DE CARENCIA DE CONTINUIDAD.

LOS TRAZADORES Y PRUEBAS HIDRÁULICAS USANDO EMBASADO--
RES PARA AISLAR FRACTURAS SON LAS MEJORES TÉCNICAS EN EL PRESEN--
TE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONTINUIDAD DE FRACTURAS.

EL ANCHO APARENTE, RUGOSIDAD DE LAS CARAS, VOLUMEN Y -
TIPO DE MATERIAL DE RELLENO SON FACTORES MUY IMPORTANTES EN LA -
EVALUACIÓN DE FRACTURAS COMO CONDUCTOS DE FLUIDOS GEOTÉRMICOS.
LA PERMEABILIDAD TAMBIÉN ES UNA FUNCIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LA PA
RED, O FRACTURAS RELLENAS.

UNO DE LOS PROBLEMAS PARA REGISTRAR LAS FRACTURAS CON
DISPOSITIVOS QUE TIENEN UN RADIO DE INVESTIGACIÓN POCO PROFUNDO
ES QUE EL PROCESO DE PERFORACIÓN Y LA CIRCULACIÓN DEL FLUIDO - -
TIENDEN A CAMBIAR EL CARÁCTER DE LAS FRACTURAS CERCA DEL POZO.
EL ANCHO DE UNA FRACTURA PUEDE SOLO SER MEDIDA CON POCA PRECI--
SIÓN DONDE ÉSTA ESTÁ CASI PERPENDICULAR A LA PARED DEL POZO, - -
PUES CUANDO LA PARED DEL POZO Y EL PLANO DE UNA FRACTURA FORMAN
UN ÁNGULO AGUDO GENERALMENTE LAS FRACTURAS DESAPARECEN DURANTE -
LA PERFORACIÓN; ESTE FENÓMENO PUEDE SER OBSERVADO EN NÚCLEOS Y -
EN LA PARED DEL POZO.

SON DISTINTOS LOS REGISTROS MECÁNICOS Y ACÚSTICOS QUE PUEDEN SUMINISTRAR UNA MEDIDA DEL ANCHO APARENTE DE LA FRACTURA EN LA PARED DEL POZO.

LAS FRACTURAS QUE ESTÁN COMPLETAMENTE RELLENAS CON MINERALES TAL COMO CUARZO O CALCITA, NO PUEDEN SER DETECTADAS POR CUALQUIER EQUIPO QUE FUNCIONE EN POZOS CALIENTES, SIN EMBARGO, - TALES FRACTURAS NO TRANSMITIRÁN MUCHA AGUA. LAS FRACTURAS QUE - ESTÁN PARCIALMENTE CERRADAS POR CRISTALES QUE TIENEN MUCHAS SU-- PERFICIES RUGOSAS, RARAS VECES SON DISTINGUIBLES DE FRACTURAS -- COMPLETAMENTE ABIERTAS. LAS FRACTURAS RELLENAS DE ARCILLA PUE-- DEN SER DETECTADAS POR LOS REGISTROS ACÚSTICO, RESISTIVIDAD O NU-- CLEAR SI AQUELLAS PROPIEDADES DE LA ARCILLA CONTRASTAN CON LAS - DE LAS ROCAS. HASTA EL MOMENTO NO EXISTE UN CAMINO PARA IDENTIFI-- FICAR EL TIPO DE ARCILLA.

LOS DATOS SOBRE LA PERMEABILIDAD O CONDUCTIVIDAD HI-- DRÁULICA DE LAS FRACTURAS SON LOS MÁS IMPORTANTES, AÚN DIFÍCIL - DE OBTENERLOS DIRECTAMENTE POR MEDIO DE MEDICIONES GEOFÍSICAS EN LOS POZOS. LOS REGISTROS DE MEDIDOR DE FLUJO Y TEMPERATURA HAN SIDO USADOS PARA ESTIMAR LA MAGNITUD RELATIVA DE LA PERMEABILI-- DAD DE LAS FRACTURAS EN POZOS GEOTÉRMICOS (KEY Y SULLIVAN, 1979, SCHIMSCHAL, 1981).

A PESAR DE QUE UN NÚMERO DE MÉTODOS DE REGISTROS DE POZOS GEOFÍSICOS PUEDEN SUMINISTRAR DATOS SOBRE LA LOCALIZACIÓN Y

CARÁCTER DE FRACTURAS EN LOS POZOS GEOTÉRMICOS, TODOS ELLOS TIENEN LIMITACIONES. UNA COMPARACIÓN DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE REGISTRO DE FRACTURAS QUE HAN SIDO USADOS EN LOS POZOS GEOTÉRMICOS ESTÁN SINTETIZADOS EN LA TABLA V.

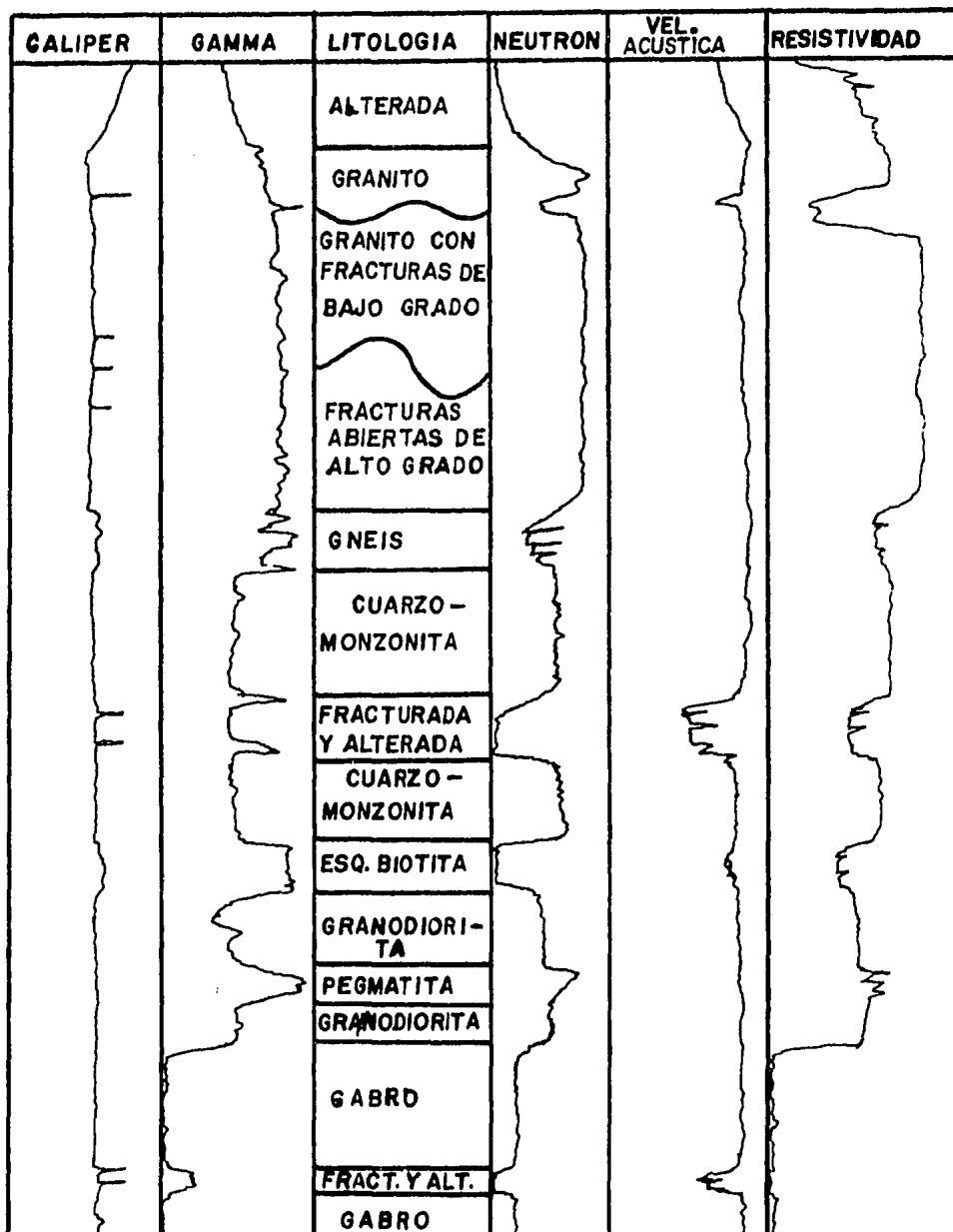
TABLA V
MÉTODOS DE POZOS GEOFÍSICOS PARA LA EVALUACION DE
FRACTURAS EN POZOS GEOTERMICOS

TIPO DE REGISTRO	CONDICION DE OPERACION A 250°C	DATOS OBTENIDOS DE LA FRACTURA	CONFIABILIDAD DE LA INTERPRETACION	OTRAS CONSIDERACIONES
TELEVISOR ACUSTICO	INSEGURO	LOCALIZACIÓN, ANCHURA APARENTE, DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	MUY BUENA	LA ZONDA DEBE SER CENTRALIZADA; LODO DENSO DISMINUYE LA SEÑAL
VELOCIDAD ACUSTICA	INSEGURO	SALTO DE CICLO EN FRACTURAS - ABIERTAS	BUENA	SONDA CENTRALIZADA
FORMA DE ONDA ACUSTICA	INSEGURO	LA AMPLITUD DE LAS ANOMALÍAS INDICAN ABERTURA HIDRAULICA	INTERPRETACION DIFÍCIL	SONDA CENTRADA- NECESITA EQUIPO DIGITIZADOR
RESISTIVIDAD	CONFIABLE	ANOMALÍAS DE MENOR RESISTIVIDAD EN FRACTURAS	AMBIGUO (INCIERTO)	ÚTILES SOLAMENTE HERRAMIENTAS DE ESPACIAMIENTO CORTO

TIPO DE REGISTRO	CONDICION DE OPERACION A 250°C	DATOS OBTENIDOS DE LA FRACTURA	CONFIABILIDAD DE LA INTERPRETACION	OTRAS CONSIDERACIONES
MEDIDOR DE ECHADOS	INSEGURO	ANOMALÍAS DE MENOR RESISTIVIDAD EN FRACTURAS, ORIENTACIÓN DE FRACTURAS	AMBIGUO-DUDOSA INTERPRETACIÓN POR COMPUTADORA	REGISTRO CARO
POTENCIAL NATURAL	CONFIABLE	CORRIENTE POTENCIAL; PRODUCE RUIDO EN LAS FRACTURAS	DUDOSO	AFECTADO POR LOS CAMBIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA
TEMPERATURA	CONFIABLE	CAMBIO DEL GRADIENTE EN FRACTURAS PERMEABLES	MUY BUENA PERO SEMICUANTITATIVA	DEBE ESTAR ALGUNA AGUA EN MOVIMIENTO EN EL POZO
MEDIDOR DE FLUJO	INSEGURO	CAMBIOS EN LA RAZÓN DE FLUJO EN FRACTURAS PERMEABLES	NECESITA DEL REGISTRO CALIPER; SEMICUANTITATIVA	REQUIERE BOMBEO O INYECCIÓN
CALIPER	CONFIABLE	MAYOR DIÁMETRO DEL POZO EN FRACTURAS	PUEDA SER AMBIGUO (INCIERTO)	DIFÍCIL EN POZOS DESVIADOS
NEUTRÓN	CONFIABLE	GRAN POROSIDAD EN FRACTURAS ABIERTAS	BUENA EN FRACTURAS GRANDES	ESPACIAMIENTO CORTO Y COLIMADO
GAMMA-GAMMA	CONFIABLE	MENOR DENSIDAD DE VOLUMEN EN FRACTURAS ABIERTAS	BUENA EN GRANDES FRACTURAS	ESPACIAMIENTO CORTO Y COLIMADO
GAMMA Y GAMMA ESPECTRAL	CONFIABLE	ANOMALÍAS EN FRACTURAS ABIERTAS O CERRADAS	INTERPRETACIÓN DIFÍCIL	

LAS RESPUESTAS HIPOTÉTICAS DE CINCO DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS MÁS ÚTILES EN LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS, ESTO ES, LAS ROCAS GEOTÉRMICAS MÁS COMUNES, SE MUESTRAN EN LA FIGURA IV.1.

FIGURA IV.1.
 RESPUESTAS HIPOTETICAS DE LOS REGISTROS
 CALIPER, GAMMA, NEUTRON, VELOCIDAD ACUSTICA Y RESISTIVIDAD
 EN VARIOS TIPOS DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS



LAS RESPUESTAS DE LOS REGISTROS DEBIDO A LAS FRACTURAS NO PUEDEN ESTAR SEPARADAS DE LA RESPUESTA DEBIDO A LA LITOLÓGIA Y A LA ALTERACIÓN HIDROTERMAL DE LA FRACTURA RELACIONADA. LAS DOS FRACTURAS EN LA COLUMNA LITOLÓGICA DE LA FIGURA IV.1. APARECERÍAN EN UN REGISTRO DE TELEVISIÓN-ACÚSTICA. EL BAJO-ÁNGULO DE LA FRACTURA CAUSA UNA RESPUESTA EN TODOS LOS REGISTROS GEOFÍSICOS, PERO LA FRACTURA DE ALTO-ÁNGULO PUEDE PRODUCIR ANOMALÍAS AMBIGUAS (INCIERTAS).

LA SECUENCIA DE ROCAS HIPOTÉTICAS ESTÁ MOSTRADA CON UN CONTENIDO DE SILICE DECRECIENDO CON LA PROFUNDIDAD. LA EXPERIENCIA HA MOSTRADO QUE, EN GENERAL, LAS ROCAS BÁSICAS TIENEN MENOR RADIOACTIVIDAD, MÁS POROSIDAD NEUTRÓN APARENTE, MAYOR VELOCIDAD ACÚSTICA, Y MENOR RESISTIVIDAD QUE LAS ROCAS SILICEAS. INCREMENTANDO EL CONTENIDO DE MICAS, TAL COMO EN EL ESQUISTO, PUEDE INCREMENTAR LA RADIOACTIVIDAD Y LA POROSIDAD NEUTRÓN APARENTE, Y DECRECE LA VELOCIDAD ACÚSTICA Y LA RESISTIVIDAD. LAS ROCAS ALTERADAS GENERALMENTE ESTÁN INDICADAS POR UN MAYOR DIÁMETRO DEL POZO PERFORADO COMO SON LOS ESQUISTOS; LA RADIOACTIVIDAD NATURAL PUEDE SER MAYOR O MENOR EN LOS INTERVALOS ALTERADOS. LAS ROCAS ALTERADAS USUALMENTE SON INDICADORAS DE UNA GRAN POROSIDAD NEUTRÓN APARENTE, BAJA VELOCIDAD ACÚSTICA, Y MENOR RESISTIVIDAD QUE LA EQUIVALENTE EN UNA ROCA FRESCA.

A CONTINUACIÓN SE HACE UNA PEQUEÑA SÍNTESIS DE CADA UNO DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS MÁS UTILIZADOS EN LOS -

POZOS GEOTÉRMICOS.

IV.3.- REGISTROS NUCLEARES.

TODOS LOS REGISTROS NUCLEARES: GAMMA, GAMMA-GAMMA, Y NEUTRÓN PUEDEN RESPONDER A GRANDES FRACTURAS ABIERTAS CERCA DEL POZO. EL REGISTRO GAMMA O GAMMA NATURAL ES TAN ÚTIL EN LA DETERMINACIÓN DE LITOLOGÍA EN ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS COMO LO ES EN LAS ROCAS SEDIMENTARIAS. SE CONOCE MENOS SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DEL URANIO, THORIO Y POTASIO EN LAS ROCAS NO-SEDIMENTARIAS, PERO EN GENERAL SE PUEDEN APLICAR LAS MISMAS REGLAS. SE PUEDE OBSERVAR DE LA TABLA VI QUE LAS ROCAS BÁSICAS DE COLOR OSCURO SON GENERALMENTE MUCHO MÁS BAJAS EN RADIOACTIVIDAD QUE LAS ROCAS SILICEAS DE COLOR CLARO, DE ESTE MODO, LOS FLUJOS RIOLÍTICOS SON FÁCILMENTE DISTINGUIBLES DE LOS FLUJOS BASÁLTICOS POR SU GRAN RADIOACTIVIDAD.

TABLA VI

INTRUSIVOS PROFUNDOS						
CRISTALINO MEDIOFINO	SIENITA	GRANITO	MONZONITA	DIORITA	GABRO	PERIDOTITA
MAYOR FELDESPATO	ALCALINO	CANTIDADES IGUALES		SALINO	NINGUNO	
SILICE	← AUMENTA →					
ALUMINIO	← AUMENTA →					
Fe y Mg	→ AUMENTA →					
DENSIDAD	→ AUMENTA →					
RADIOACTIVIDAD	← AUMENTA →					
CRISTALINO MUY FINO	TRAQUITA	RIOLITA	LATITA	ANDESITA	BASALTO	
INTRUSIVOS POCO PROFUNDOS Y FLUJOS SUPERFICIALES						

LOS REGISTROS DE GAMMA NATURAL PUEDEN SER USADOS PARA LA DISTINCIÓN DE ROCAS ÍGNEAS ÁCIDAS DE LOS BASALTOS Y DEL FLUJO INTERNO DE SEDIMENTOS DE ESCORIAS Y CENIZAS. EL POTASIO-40 ES - EL FELDESPATO POTÁSICO QUE PRODUCE UNA GRAN RADIOACTIVIDAD. EL FELDESPATO POTÁSICO ES EL CONSTITUYENTE MAYOR EN LAS ROCAS ÍGNEAS.

EL URANIO Y EL THORIO PUEDEN MOSTRAR VARIACIONES CONSIDERABLES PORQUE LOS DOS RADIOISOTOPOS TIENDEN A SER CONCENTRADOS EN EL MINERAL ACCESORIO TAL COMO EL ZIRCÓN, APATITO Y ESFENA Y SON A MENUDO RELACIONADOS ESPACIALMENTE A LA BIOTITA. EL URANIO ES COMPLETAMENTE MÓVIL BAJO CONDICIONES DE OXIDACIÓN POR EL AGUA SUBTERRÁNEA Y SE HAN PRESENTADO EVIDENCIAS DE ALGUNOS DEPÓSITOS DE URANIO EN ROCAS SEDIMENTARIAS QUE HAN SIDO DERIVADOS DE LA LIXIVIACIÓN DE ROCAS GRANÍTICAS (STUCKLES Y OTROS, 1979). LAS ROCAS GRANÍTICAS QUE TIENEN UNA RELACIÓN DE Th/U MAYOR QUE EL PROMEDIO DE 3 A 5, PUEDEN INDICAR LIXIVIACIÓN (ROGERS Y ADAMS, 1969)

EL REGISTRO DE ESPECTROMETRÍA DE RAYOS GAMMA OFRECE UN MEDIO DE LOCALIZACIÓN DE ZONAS ALTERADAS HIDROTERMALMENTE.

LOS REGISTROS GAMMA-GAMMA PUEDEN NO SER TAN ÚTILES EN MUCHAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS COMO LO SON EN ROCAS SEDIMENTARIAS; EN ROCAS INTRUSIVAS LAS DENSIDADES SON A MENUDO ALTAS Y PUEDEN NO CAMBIAR MUCHO EN UNA ROCA DETERMINADA, ADEMÁS, LAS DENSIDADES PUEDEN ESTAR MÁS ALLÁ DEL RANGO DE CALIBRACIÓN DE LAS --

SONDAS COMERCIALES. SIMILARMENTE HA SIDO NECESARIO INCREMENTAR EL ESPACIAMIENTO DE LA FUENTE AL DETECTOR A FIN DE HACER VÁLIDOS LOS REGISTROS GAMMA-GAMMA EN TOBAS VOLCÁNICAS CON POROSIDADES -- TAN ALTAS COMO UN SESENTA PORCIENTO. LA VARIACIÓN EN EL DIÁMETRO DEL POZO PUEDE CAUSAR UN PROBLEMA EN LA INTERPRETACIÓN DE -- LOS REGISTROS GAMMA-GAMMA INCLUSIVE LOS DE TIPO "COMPENSADO".

LOS POZOS DE PEQUEÑO DIÁMETRO EN ROCAS ÍGNEAS PUEDEN -- SER TOTALMENTE UNIFORMES EN TAMAÑO, PERO LAS FRACTURAS Y ZONAS -- ALTERADAS EN YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS PUEDEN CAUSAR AGRANDAMIENTO DEL POZO O RUGOSIDADES, SIGNIFICANTEMENTE MÁS ALLÁ DE LA DESCENTRALIZACIÓN O CAPACIDAD DE CORRECCIÓN DEL EQUIPO. EL DESCONOCIMIENTO DE LA QUÍMICA DE LAS ROCAS PUEDE NO PERMITIR CIERTAS CORRECCIONES (Z/A) PARA LA DERIVACIÓN O CONOCIMIENTO EXACTO DE LA DENSIDAD A PARTIR DE LOS REGISTROS.

LOS REGISTROS NEUTRÓN ESTÁN SUJETOS A ALGUNOS DE LOS -- MISMOS DEFECTOS ARRIBA DESCRITOS, PERO ESTÁ PROBADO QUE PUEDEN -- SER MUY ÚTILES EN EL ESTUDIO DE LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS. SIN LA ADECUADA CALIBRACIÓN DE DATOS PARA LOS TIPOS DE LITOLOGÍA APROPIADA, UNA SONDA DE NEUTRÓN CALIBRADA EN UNIDADES API PARA -- POROSIDADES DE CALIZA, NO SE PUEDE SUPONER QUE SUMINISTRARÁ POR -- SIDADES CORRECTAS EN UNA ROCA ÍGNEA O METAMÓRFICA FRESCA O ALTE-- RADA. ÉSTAS SONDAS DETECTAN FRACTURAS DEBIDO AL INCREMENTO EN -- LA POROSIDAD, ADEMÁS, LOS REGISTROS NEUTRÓN SUMINISTRAN MEJORES RESULTADOS QUE LOS REGISTROS GAMMA-GAMMA EN ROCAS ÍGNEAS POR DOS

RAZONES POSIBLES: PRIMERA, LA RESPUESTA DE UN REGISTRO NEUTRÓN ES NO LINEAL Y TIENE UN MÁXIMO DE INVESTIGACIÓN EN ROCAS ÍGNEAS CON UNA MÍNIMA POROSIDAD. SEGUNDA, LA ALTERACIÓN EN LAS FRACTURAS PUEDE PRODUCIR MINERALES HIDRATADOS, LOS CUALES PRODUCIRÁN UNA ANOMALÍA NEUTRÓN.

LOS REGISTROS GAMMA PUEDEN MOSTRAR FRACTURAS QUE PUEDEN SER MÁS O MENOS RADIOACTIVAS QUE LAS ROCAS CIRCUNDANTES (FIGURA IV.1.). ESTOS CAMBIOS GENERALMENTE SON DEBIDOS A LA LIXIVIACIÓN O PRECIPITACIÓN DE URANIO Y DESINTEGRACIÓN DE PRODUCTOS, QUE PUEDEN SER IDENTIFICADAS (LAS FRACTURAS) POR LOS REGISTROS GAMMA-ESPECTRAL. RELATIVAMENTE GRANDES CONCENTRACIONES DE RADÓN (GAS) HAN SIDO FUNDIDOS EN ALGUNOS FLUIDOS GEOTÉRMICOS, Y LA EMISIÓN DE ESE GAS A PARTIR DE UNA FRACTURA PUEDE SER DETECTADO POR UN REGISTRO GAMMA. EL RADÓN Y EL AGUA SON FLUIDOS DE FRACTURAS EN ROCAS GRANÍTICAS CON UN CONTENIDO RELATIVAMENTE GRANDE DE URANIO Y THORIO.

IV.4.- REGISTROS ACUSTICOS.

LOS REGISTROS TELEVISOR-ACÚSTICO (ACOUSTIC-TELEVIEWER), VELOCIDAD-ACÚSTICA, FORMA DE ONDA-ACÚSTICA PROBABLEMENTE SON LOS TIPOS DE REGISTROS MÁS ÚTILES QUE PROPORCIONAN INFORMACIÓN SOBRE

LAS FRACTURAS EN LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS.

EL TELEVISOR-ACÚSTICO, POSIBLEMENTE ES LA HERRAMIENTA MÁS ÚTIL PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS EN LA LOCALIZACIÓN, ORIENTACIÓN Y CARÁCTER DE LAS FRACTURAS; POR DIVERSAS RAZONES ES MÁS -- APLICABLE ESTA HERRAMIENTA EN ROCAS ÍGNEAS QUE EN ROCAS SEDIMENTARIAS, YA QUE LAS ROCAS "DURAS" SUMINISTRAN UNA REFLEXIÓN SUPERIOR, Y EL LODO DE PERFORACIÓN Y EL ENDURECIMIENTO DEL MISMO NO SON UN PROBLEMA GENERALMENTE. EL TELEVISOR-ACÚSTICO PUEDE TAMBIÉN SUMINISTRAR INFORMACIÓN LITOLÓGICA DE LA DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO DE LOS CONTACTOS ENTRE CAPAS. UNA ALTA RESOLUCIÓN DE LOS REGISTROS CALIPER PUEDE TAMBIÉN SER OBTENIDA A PARTIR DE ESA IMPORTANTE HERRAMIENTA, POR ORIENTACIÓN MAGNÉTICA.

LA SONDA TELEVIEWER ES LA MÁS COMPLEJA DE LOS REGISTROS ACÚSTICOS Y ES LA MENOS CONFIABLE EN POZOS DE ALTAS TEMPERATURAS, PERO EXISTEN REGISTROS TOMADOS A TEMPERATURAS MAYORES DE 260°C.

LOS REGISTROS CONVENCIONALES DE VELOCIDAD-ACÚSTICA, GENERALMENTE MUESTRAN UN SALTO DE CICLO EN UNA FRACTURA ABIERTA, - COMO SE MUESTRA EN LA FIGUA IV.1. ESTOS SALTOS DE CICLO SON CAUSADOS POR LA ATENUACIÓN DE LA ONDA COMPRESIONAL, BAJANDO EL NIVEL DEL ACCIONADOR AUTOMÁTICO. POR TANTO, LA RESPUESTA NO ES ÚNICAMENTE CAUSADA POR FRACTURAS, AUNQUE LOS SALTOS DE CICLO PUE DEN SER UNA INDICACIÓN BASTANTE CONFIABLE DE FRACTURAS EN ALGU--

NOS POZOS. LA AMPLITUD DE LA DEFLEXIÓN DE LA TRAZA EN UN SALTO DE CICLO NO ES INDICATIVA DEL TAMAÑO DE LA FRACTURA. LA VELOCIDAD ACÚSTICA TIENDE A SER TOTALMENTE ALTA EN ROCAS INTRUSIVAS. SE CORRIERON UN NÚMERO DE REGISTROS EN INTRUSIVOS GRANÍTICOS ENCONTRÁNDOSE UNA VELOCIDAD PROMEDIO DE 50-52 MICROSEG/FT. SE ENCONTRARON VELOCIDADES MÁS BAJAS EN ZONAS ALTERADAS HIDROTERMALMENTE Y EN ZONAS FRACTURADAS; LAS ZONAS SILIFICADAS PRODUCEN VELOCIDADES MÁS ALTAS QUE UNA ROCA SIMILAR INALTERADA. COMO SE INDICÓ EN LA SECCIÓN SOBRE FRACTURAS, LA ATENUACIÓN ACÚSTICA PUEDE SUMINISTRAR INFORMACIÓN SOBRE LA TRANSMISIÓN DE AGUA EN FRACTURAS.

EL CARÁCTER DE LA FORMA DE ONDA, DEPENDE DE LA PRESENCIA Y NÚMERO DE FRACTURAS A LO LARGO DE LAS TRAYECTORIAS ACÚSTICAS Y SOBRE SUS PRESIONES ESTABLECIDAS.

IV.5.- REGISTROS ELECTRICOS.

LOS REGISTROS ELÉCTRICOS, INCLUYENDO TODOS LOS TIPOS DE RESISTIVIDAD, CONDUCTIVIDAD, POLARIZACIÓN INDUCIDA Y POTENCIAL NATURAL, SON PARTICULARMENTE DIFÍCILES EN SU INTERPRETACIÓN EN ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS. ÉSTO ES EN GRAN PARTE DEBIDO A LA FALTA DE EXPERIENCIA Y AL HECHO DE QUE EL RANGO DE RESISTIVI-

DADES TIENDE A SER MAYOR QUE EN LAS ROCAS SEDIMENTARIAS. LA RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS ÍGNEAS FRESCAS PUEDE SER DE MILES DE -- OHM-METROS, LO CUAL VA MÁS ALLÁ DE LA CAPACIDAD DE MEDICIÓN FIDELIGNA DE LOS EQUIPOS DE REGISTRO COMUNES. LA SELECCIÓN ADECUADA DEL EQUIPO Y ESCALAS AYUDARÍA A PRODUCIR REGISTROS ÚTILES; POR -- EJEMPLO, EL REGISTRO DE INDUCCIÓN NO ES UN REGISTRO ADECUADO EN ROCAS DE ALTA RESISTIVIDAD.

LAS RESISTIVIDADES MUY ALTAS SON DEBIDAS A LA BAJA POROSIDAD Y AGUA DULCE QUE GENERALMENTE ESTÁ PRESENTE; LAS ZONAS ALTERADAS Y FRACTURAS EXHIBEN BAJA RESISTIVIDAD Y CONCENTRACIONES DE MINERALES METÁLICOS TAL COMO LA PIRITA QUE PUEDE SER TOTALMENTE CONDUCTIVA. LAS CONCENTRACIONES DE MAGNETITA SON BASTANTE COMUNES EN LAS ROCAS ÍGNEAS, Y ÉSTAS, SON FÁCILMENTE DETECTADAS EN LOS REGISTROS DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y ADEMÁS CAUSA SIGNIFICANTES PERTURBACIONES EN LOS REGISTROS QUE UTILIZAN -- BRÚJULAS PARA SU ORIENTACIÓN, TAL COMO EL TELEVIEWER Y EL MEDIDOR DE ECHADOS.

EN EL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL PUEDE SER PARTICULARMENTE DIFÍCIL SU INTERPRETACIÓN EN ROCAS NO SEDIMENTARIAS, -- SIN EMBARGO, HA SIDO ÚTIL EN LA LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE ENTRADA DE AGUA, YA QUE ESTO PRODUCE UNA CORRIENTE DE POTENCIAL.

LOS REGISTROS DE RESISTIVIDAD DE ESPACIAMIENTO CORTO -- TIENEN SUFICIENTE RESOLUCIÓN DE ANOMALÍAS DE BAJA RESISTIVIDAD --

EN PEQUEÑAS FRACTURAS SI EL CONTRASTE DE RESISTIVIDADES ENTRE LA ROCA Y LA FRACTURA ES SUFICIENTE Y SI EL FLUIDO EN EL POZO NO ES TAMBIÉN SALINO (FIGURA IV.1.), LAS DIFERENTES SONDAS DE RESISTENCIA: PUNTO-SIMPLE, NORMAL-CORTA Y MICRO O SISTEMAS DE ENFOCAMIENTO CORTO TIENEN LA MEJOR RESOLUCIÓN PARA FRACTURAS.

IV.6.- REGISTROS CALIPER.

LA MAYORÍA DE LAS FRACTURAS QUE SON CAPACES DE TRANSMITIR SIGNIFICANTES CANTIDADES DE AGUA O VAPOR PUEDEN SER DETECTADAS POR UNA SONDA CALIPER DE ALTA-RESOLUCIÓN Y SE PUEDE ESTIMAR EL ANCHO APARENTE DE LA FRACTURA. LA MAYOR PARTE DE LAS SONDAS SENSITIVAS USAN TRES O CUATRO BRAZOS DE DIÁMETRO CASI IGUAL AL DE UN LÁPIZ. LOS CALIPER SON CUATRO BRAZOS INDEPENDIENTES, ESTÁN MAGNÉTICAMENTE ORIENTADOS Y PUEDEN SUMINISTRAR INFORMACIÓN SOBRE LA DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO DE LAS FRACTURAS.

ESTOS REGISTROS SON NECESARIOS PARA EVITAR LA INCORRECTA INTERPRETACIÓN, MUY COMÚN, DE TODOS LOS TIPOS DE REGISTROS -- QUE PUEDE SER DEBIDO AL EFECTO DEL DIÁMETRO DEL POZO. LOS CAMBIOS DEL DIÁMETRO PROMEDIO DEL POZO TAMBIÉN PUEDE INDICAR ALTERACIÓN O CONTACTOS ENTRE DIFERENTES TIPOS DE ROCAS.

TABLA VII
 SISTEMAS HIBRIDO Y ABSOLUTO DE UNIDADES USADAS
 EN INGENIERIA DE YACIMIENTOS GEOTERMICOS

VARIABLE	SISTEMA INTERNACIONAL (SI)	SISTEMA HIBRIDO
k	METRO ²	MD (MILIDARCYS)
h	M	M
p	NEWTON/METRO ² = PASCAL	KG _f /CM ²
w	KG/SEG	TON/HR
V _{sc}	METRO ³ /KG	CM ³ /GM
B	METRO ³ rc/METRO ³ **	METRO ³ rc/METRO ³ sc
μ	KG/METRO. SEC	CP (CENTIPOICE)
t	SEG	HORAS
φ	FRACCION	FRACCION
C _t	(NEWTON/METRO ²) ⁻¹	(KG/CM ²) ⁻¹
r	METRO	METRO
a	26.1201	77.459 x 10 ³
B	1	0.000348
δ	1/2 π	456.7869

rc = CONDICIONES DE YACIMIENTO.

sc = CONDICIONES NORMALES O ESTÁNDAR.

IV.7.- REGISTRADORES DE PRESION Y TEMPERATURA KUSTER.

LOS POZOS GEOTÉRMICOS DURANTE SU CONSTRUCCIÓN NO TIENEN EL GRADIENTE DE TEMPERATURA NORMAL, YA QUE EN ALGUNA FORMA ESTÁN COMUNICADOS CON EL YACIMIENTO O LA MISMA TRANSFERENCIA DE CALOR DE LA ROCA, PROVOCA EN OCASIONES, TENER DESDE LA PRIMERA ETAPA ALTAS TEMPERATURAS, ADEMÁS NO SE HA DESARROLLADO LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA CONTAR CON INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN TAN COMPLETOS COMO LOS USADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA, POR LO TANTO LO QUE RESPECTA A MEDICIONES DE FONDO SE HACEN ÚNICAMENTE CON REGISTRADORES MECÁNICOS ESPECÍFICAMENTE KUSTER. ESTE TIPO DE SONDAS CONSTA DE TRES COMPONENTES PRINCIPALES QUE SON: RELOJ, REGISTRADOR Y ELEMENTO, YA SEA ÉSTE ÚLTIMO DE PRESIÓN O TEMPERATURA.

LOS REGISTRADORES DE PRESIÓN O TEMPERATURA KUSTER -- HAN SIDO DISEÑADOS PARA OBTENER DATOS SOBRE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DE CUALQUIER INTERVALO DE PROFUNDIDAD DE LOS POZOS YA SEA EN CONDICIONES DE POZOS ESTÁTICOS, FLUYENDO, A TRAVÉS DE TUBERÍAS O EN AGUJERO ABIERTO. ESTOS REGISTRADORES CUMPLEN -- CON EL PROPÓSITO DE REGISTRAR LA PRESIÓN O TEMPERATURA A TRAVÉS DE DIÁMETROS REDUCIDOS Y UTILIZAN UN TUBO DE BOURDON ENROLLADO EN FORMA HELICOIDAL, LO QUE HA ESTADO EN USO DESDE 1930.

CONCLUSIONES

DE TODO LO ANTERIOR, SE PUEDE CONCLUIR QUE ES POSIBLE OBTENER INFORMACIÓN IMPORTANTE A PARTIR DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS DE LAS ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS, Y QUE EL CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS POZOS GEOFÍSICOS ESTÁ AÚN EN SU INFANCIA, ADEMÁS QUE SE VA INCREMENTANDO LA DEMANDA PARA GEOLOGÍA, HIDROLOGÍA, INGENIERÍA Y DATOS DE EXPLORACIÓN MINERA EN TALES ROCAS. LOS CONOCIMIENTOS DERIVADOS EMPÍRICAMENTE Y LA INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA SON POCOS. INCREMENTADO LOS REGISTROS EN TALES ROCAS MEJORARÁ GRADUALMENTE EL ESTADO DE NUESTROS CONOCIMIENTOS, ASÍ COMO LOS ESFUERZOS EN LA INVESTIGACIÓN EN DICHO CAMPO. PARA OBTENER ESTO Y MÁS SE RECOMIENDA LO SIGUIENTE:

- 1.- DESARROLLAR MODELOS TEÓRICOS PETROFÍSICOS PARA LA RESPUESTA DE VARIAS HERRAMIENTAS DE REGISTRO EN ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS.
- 2.- CONSTRUIR Y HACER LAS CALIBRACIONES DISPONIBLES EN POZOS MODELO PARA LA MAYORÍA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ROCAS, INCLUYENDO UN MODELO FRACTURADO.
- 3.- INICIAR UN PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN COMPRENSIVO "IN SITU" SOBRE LA DETECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FRACTURAS CON MAYOR ÉNFASIS EN LOS MÉTODOS ACÚSTI

COS, YA QUE ÉSTOS PARECE QUE SUMINISTRAN LA MAYOR INFORMACIÓN SOBRE LA GEOMETRÍA DE LAS FRACTURAS Y PERMEABILIDAD, ADEMÁS PERMITE EL MAPEO DE FRACTURAS ENTRE POZOS.

- 4.- RECONOCIMIENTO DE LAS LIMITACIONES DE LAS HERRAMIENTAS DE REGISTRO EXISTENTES EN ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS Y MODIFICARLAS O REDISEÑARLAS SI ES NECESARIO.

- 5.- REFINAR LAS TÉCNICAS USADAS PARA LA DETERMINACIÓN VERDADERA DE LA TEMPERATURA DEL YACIMIENTO Y EL FLUJO TÉRMICO CARACTERÍSTICOS DE LA FORMACIÓN CON VARIAS ESTRUCTURAS POROSAS.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ ROMAN. LA GEOTERMIA Y ALTERNATIVAS ENERGETICAS EN MEXICO. CIENCIA Y DESARROLLO NÚM. 10 SEP/OCT. 1986.

BANWELL C.J. GEOPHYSICAL METHODS IN GEOTHERMAL EXPLORATION. GEOTHERMAL ENERGY REVIEW OF RESEARCH AND DEVELOPMENT - - UNESCO, 1977.

BASSO ALVAREZ JOSE S., HEBER CINCO LEY. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE FORMACIONES EN YACIMIENTOS NATURALMENTE FRACTURADOS. TWENTY SECOND LOGGING SYMPOSIUM (SPWLA), JUNIO 1981.

BEREZOWSKY VERDUZCO MOISES. ANALISIS DEL FLUJO EN POZOS GEOTERMICOS. IX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA. JUNIO - 30-JULIO 4, 1980, MÉRIDA, VENEZUELA.

C.F.E. ESTADO DE LA GEOTERMIA EN MEXICO, JUNIO 1982.

C.F.E. REGISTRO SONICO DE CEMENTACION, NOVIEMBRE 1977.

EARLOUGHER, R.C., JR. ADVANCES IN WELL TEST ANALISIS. MONOGRAPH SERIES. SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS OR AIME, DALLAS TEX. 1977.

ERSHAGHT IRAJ, GHAEMIAN SHANED AND ABDASSAH DODDY. LITHOLOGY -
AND HIDROTHERMAL ALTERATION DETERMINATION FROM WELL LOGS
FOR THE CERRO PRIETO WELLS, MEXICO.

FERTL W.H., HAROLD OVERTON. FORMATION EVALUATION. HANDBOOK OF
GEOHERMAL ENERGY.

FERTL W.H. GEOPHYSICAL WELL LOGS APPLIED TO GEOTHERMAL RESOUR-
SE EVALUATION. REVUE DE L'INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE,
MAY-JUN, 1980.

GEOTHERMAL WELL LOG INTERPRETATION MIDTHERM REPORT, FEBRERO, -
1979.

INGENIERIA DE YACIMIENTOS GEOTERMICOS DE ALTA TEMPERATURA. SE-
COND SYMPOSIUM ON THE CERRO PRIETO GEOTHERMAL FIELD, BAJA
CALIFORNIA, MEXICO. OCTOBER 17-19, 1979. MEXICALI, B.C.N.

JEFFREY B. HULEN AND BRUCE S. SILBETT. SAMPLING AND INTERPRE--
TATION OF DRILL CUTTINGS FROM GEOTHERMAL WELLS. EARTH - -
SCIENCE LABORATORY UNIVERSITY OF UTAH RESEARCH INSTITUTE.

KEYS W.S. LOCATION AND CHARACTER OF FRACTURES IN GEOTHERMAL --
WELLS. U.S. GEOLOGICAL SURVEY.

KUKACKA L.E. FONTANA J. ZEDIN A., CARCIELLO N. CEMENTING OF --
GEOHERMAL WELLS. DIVISION OF GEOHERMAL ENERGY U.S. ENER
GY RESEARCH AND DEVELOPMENT ADMINISTRATION WASHINGTON. -
OCT./DEC., 1976.

LEFFEL C.S., JR. AND EISENBERG R.A. GEOHERMAL HANDBOOK . THE
JOHN HOPKINS UNIVERSITY APPIED AHSYCS LABORATORY, JUNIO,
1977.

LEON VENTURA RAUL. ANÁLISIS DE PRUEBAS DE PRESIÓN EN POZOS FRAC
TURADOS VERTICALMENTE. DIVISIÓN DE EVALUACIÓN DE FORMACIO
NES, SUBDIRECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE EXPLOTACIÓN, IMP, 1981.

MATHEWS MARK. EXCERPT FROM WIRELINE LOGGING, PURPOSES AND USES.
GEOHERMAL RESOURCES COUNCIL TECHNICAL COUSE NUM. 7, 1981.

MATTHEWS. C.S. AND RUSSELL, D.G. PRESSURE BUILDUP AND FLOW TEST
IN WELLS. MONOGRAPH SERIES. SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS
OF AIME, DALLAS TEX. 1967.

MUSKAT, M. THE FLOW OF HOMOGENEOUS FLUIDS THROUGH POROUS MEDIA.
McGraw-Hill Book Co, NEW YORK, N.Y. 1938.

PERFORACION GEOTERMICA EN CERRO PRIETO. FOURTH SYMPOSIUM ON --
THE CERRO PRIETO GEOHERMAL FIELD, BAJA CALIFORNIA, MÉX.
AUGUST 10-12, 1982. GUADALAJARA, JAL.

PHILLIP N. LA MORI. HIDROTHERMAL GEOTHERMAL RESOURCES AND GROWTH
IN UTILIZATION. ENERGY TECHNOLOGY III, 1976.

RAMEY, H.J., JR. AND GRINGARTEN, A.C. EFFECT OF HIGH VOLUME --
VERTICAL FRACTURES ON GEOTHERMAL STEAM WELL BEHAVIOR SE--
COND U.N. SYMPOSIUM ON THE DEVELOPMENT AND USE OF GEOTHER--
MAL RESOURCES, SAN FRANCISCO, CAL. 1975.

REYES VERMOT PABLO. COMENTARIOS GENERALES SOBRE LA APLICACION
DE REGISTROS DE POZOS. C.F.E., JUNIO 1985.

ROSS W. EDWARD, VAGELATOS NICHOLS, DICKERSON JOHN M., NGUYEN --
VAN. NUCLEAR LOGGING AND GEOTHERMAL LOG INTERPRETATION: --
FORMATION TEMPERATURE SONDE EVALUATION. LOS ALAMOS NATIO--
NAL LABORATORY, ENERO 1982.

SAMANIEGO FERNANDO V. JESUS RIVERA R. CLASIFICACIÓN DE LOS SIS--
TEMAS GEOTÉRMICOS.

SAMANIEGO FERNANDO V. HEBER CINCO LEY. RESERVOIR ENGINEERING --
CONCEPTS. HANDBOOK OF GEOTHERMAL ENERGY.

SEAMONT D.T., JR. AND ELDERS W.A. USE OF WIRELINE LOGS AT CE--
RRO PRIETO IN THE IDENTIFICATION OF THE DISTRIBUTION OF --
HIDROTHERMALLY ALTERED ZONES AND DIKE LOCATIONS AND THEIR
CORRELATION WITH RESERVOIR TEMPERATURES. THIRD SYMPOSIUM
ON THE CERRO PRIETO GEOTHERMAL FIELD. BAJA CALIFORNIA, --
MEX. MARCH 24-26, 1981, SAN FRANCISCO CALIFORNIA.

TWENTY-SECOND ANNUAL LOGGING SYMPOSIUM TRANSACTIONS VOL. III,
JUNIO 23-26, 1981, MEXICO CITY, MEX.

VERDUGO MARISCAL FERNANDO. LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS DEL ESTADO
DE SONORA. SECRETARÍA DEL FOMENTO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE
MINERÍA GEOLÓGICA Y ENERGÉTICA, FEB. 1983.

WEST, F.G., KINTZINGER, P.R., AND PURTYMUN, W.D. HYDROLOGIC --
TEXTING TEOTHERMAL TEST. LOS ALAMOS SCIENTIFIC LABORATORY
REPORT LA - 6017 - MS, JULY 1975.