

Índice

SECCIÓN II CONTINUACIÓN DEL TOMO I

II-14. LOS ATRIBUTOS ESTRUCTURALES Y EL SOPORTE A LA INTERPRETACIÓN SÍSMICA	1
ATRIBUTO DE COHERENCIA	1
ATRIBUTO DE CURVATURA	7
CURVATURA DE EULER	12
DETERMINACIÓN DE LA CURVATURA DE EULER	12
ATRIBUTO <i>EDGE DETECTION</i>	13
ATRIBUTO SEGUNDA DERIVADA (<i>SECOND DERIVATIVE</i>)	15
ATRIBUTO <i>AVT (AMPLITUDE VOLUME TECHNIQUE)</i>	16
MULTI-ATRIBUTOS O ATRIBUTOS COMBINADOS	20
II-15. LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA	35
GENERALIDADES	35
CARACTERIZACIÓN SÍSMICA	42
CONSIDERACIONES ADICIONALES	45
II-16. MEJORANDO LA EFICIENCIA DE LA INTERPRETACIÓN	51
RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO Y LA GEOLOGÍA DEL CONTEXTO	51
DESAFÍO DE INTERPRETACIÓN	52
ANÁLISIS DE SECUENCIAS	53
CLASIFICACIÓN DE SISMOFACIES	53
OTRAS METODOLOGÍAS Y APLICACIONES ESPECÍFICAS	54

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

LAS REDES NEURONALES APLICADAS A LA CARACTERIZACIÓN DE RESERVORIOS	55
REDES NEURONALES EN LA CARACTERIZACIÓN DE RESERVORIOS.....	58
LOS ALGORITMOS GENÉTICOS COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE FACIES SÍSMICAS.....	58
LOS ALGORITMOS GENÉTICOS.....	59
OPERADORES GENÉTICOS	60
INTERPRETACIÓN SÍSMICA UTILIZANDO ALGORITMOS DE SEGMENTACIÓN	60
IMÁGENES EN MALLA.....	62
CORTES NORMALIZADOS	62
FRONTERAS DE LA INTERPRETACIÓN SÍSMICA: REALIDAD AUMENTADA (RA) E IMÁGENES DE ATRIBUTOS	64
II-17. DENSIFICACIÓN DE HORIZONTES Y FALLAS.....	67
INFORMACIÓN SÍSMICA INTERPRETABLE.....	67
II-18. INTERPRETACIÓN SÍSMICA DE DETALLE. APLICACIÓN EN PROYECTOS DE RECUPERACIÓN SECUNDARIA (<i>WF</i>) Y TERCIARIA (<i>EOR</i>).....	75
UN EJEMPLO PRÁCTICO	76
II-19. GENERACIÓN DE MAPAS. TIPOS DE REPRESENTACIÓN.....	87
CONCEPTOS BÁSICOS.....	87
TÉCNICAS DE MAPEO	88
ELECCIÓN ENTRE TRIANGULACIÓN O GRILLADO	88
CONTROL DE CALIDAD.....	91
PRINCIPALES PAUTAS DEL MAPEO	91
II-20. CUANDO LOS VOLÚMENES Y ATRIBUTOS SOBREABUNDAN.....	95

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

GENERALIDADES.....	95
ALGUNOS CASOS ESPECÍFICOS.....	97
SECCIÓN III	
III-1. LA ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL Y LA CATEGORÍA DE LOS EVENTOS SÍSMICOS.....	
DE LOS EVENTOS SÍSMICOS.....	
ELEMENTOS DE ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL.....	107
TIPOS DE DISCONTINUIDAD.....	107
FACTORES QUE CONTROLAN EL ORIGEN DE LAS SECUENCIAS DEPOSITACIONALES.....	109
CORTEJOS SEDIMENTARIOS.....	115
III-2. IDENTIFICACIÓN SÍSMICA DE SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS.	
ELEMENTOS DE SISMOESTRATIGRAFÍA.....	
DE LOS EVENTOS SÍSMICOS.....	
CONCEPTOS BÁSICOS.....	121
ANÁLISIS DE LAS SECUENCIAS SÍSMICAS.....	122
ANÁLISIS DE LAS SISMOFACIES.....	127
ANÁLISIS DEL CARÁCTER DE LAS REFLEXIONES.....	129
III-3. VISUALIZACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL COLOR.....	
DE LOS EVENTOS SÍSMICOS.....	
UTILIZACIÓN DEL COLOR EN LA VISUALIZACIÓN SÍSMICA.....	131
LA MEZCLA DE DATOS Y EL VALOR DE LA VISUALIZACIÓN.....	139
VOLUMEN DE FUSIÓN.....	141
III-4. LOS ATRIBUTOS ESTRATIGRÁFICOS.	
DE LOS EVENTOS SÍSMICOS.....	
DESCOMPOSICIÓN ESPECTRAL.....	
ALGUNAS DEFINICIONES.....	145
DESCOMPOSICIÓN ESPECTRAL.....	149
PROCESO DE CÁLCULO.....	160

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

PREPARACIÓN DE LOS DATOS.....	160
GENERACIÓN DEL <i>TUNING CUBE</i>	161
RECONSTRUCCIÓN DE VOLUMEN.....	162
III-5. EL CONTENIDO DE FRECUENCIAS DEL DATO SÍSMICO	167
ALGUNOS CONCEPTOS INICIALES	167
CONVOLUCIÓN Y CORRELACIÓN EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.....	170
EL ANCHO DE BANDA DE LOS DATOS SÍSMICOS	170
AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE BANDA. ALTAS Y BAJAS FRECUENCIAS.....	172
MEJORAS EN LAS FRECUENCIAS	176
MÉTODO DE LA SEGUNDA DERIVADA PARA UNA INTERPRETACIÓN MÁS PRECISA.....	177
LAS BAJAS FRECUENCIAS	178
III-6. LAS IMÁGENES EN PROFUNDIDAD	183
GENERALIDADES.....	183
CONSIDERACIONES PRÁCTICAS.....	184
LOS OBJETIVOS DEL INTÉRPRETE	184
ELECCIÓN DE ALGORITMOS.....	185
ACTUALIZACIONES TOMOGRÁFICAS Y RESOLUCIÓN DE VELOCIDAD.....	185
GENERACIÓN DEL MODELO DE VELOCIDAD INICIAL	186
MODELO INICIAL <i>PSDM</i>	186
PRIMERA ITERACIÓN DE TOMOGRAFÍA	187
ITERACIONES POSTERIORES DE TOMOGRAFÍA E IMAGEN.....	189
ANISOTROPÍA Y CALIBRACIÓN DE POZOS	191
III-7. FACIES SÍSMICAS E IDENTIFICACIÓN DE PATRONES CONSISTENTES	195

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

PREDICCIÓN DE LAS FACIES SÍSMICAS.....	195
ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE LOS DATOS SÍSMICOS	196
K-MEANS CLUSTERING.....	198
ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (<i>PCA</i>).....	198
PROJECTION PURSUIT	199
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (<i>ANN</i>)	200
VARIANTE <i>VECTOR QUANTIZATION</i> (<i>UVQ = UNSUPERVIZED VECTOR QUANTIZATION</i>).....	201
VARIANTE <i>SELF-ORGANIZING MAPS (SOM)</i>	202
<i>MACHINE LEARNING</i> EN LA CLASIFICACIÓN DE LAS FACIES SÍSMICAS	204
HERRAMIENTAS QUE MEJORAN LAS CLASIFICACIONES DE LAS FACIES.....	206
COMENTARIOS FINALES.....	212
III-8. LA PERSISTENCIA DE VALORES DE AMPLITUDES.....	213
EN BÚSQUEDA DE UNA DEFINICIÓN ÚNICA.....	213
REDUCIR LA INCERTIDUMBRE	214
FACTORES QUE AFECTAN LAS AMPLITUDES DE LAS REFLEXIONES.....	218
III-9. ACONDICIONAMIENTO DE LOS DATOS SÍSMICOS EN ESTACIONES DE TRABAJO.....	225
COMPARACIÓN DE LOS ALGORITMOS DE FILTRADO.....	225
EL ACONDICIONAMIENTO DE LOS DATOS MÁS ALLÁ DE LAS IMÁGENES SÍSMICAS	228
EL PRE-ACONDICIONAMIENTO Y LA INFORMACIÓN DESDE LOS ATRIBUTOS SÍSMICOS.....	229
SUPRESIÓN DEL RUIDO ALEATORIO	229
FILTRO DE KUWAHARA.....	230

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

FILTRO BILATERAL	230
SUPRESIÓN DE HUELLA (<i>FOOTPRINT</i>) DE ADQUISICIÓN	231
MEJORA DEL ANCHO DE BANDA DE FRECUENCIA DE LOS DATOS SÍSMICOS	232
BLANQUEAMIENTO ESPECTRAL VARIABLE EN EL TIEMPO	232
FILTRADO Q INVERSO	233
FILTRADO ESTRUCTURALMENTE ORIENTADO DE DIVISIÓN DE FRECUENCIAS	234
INVERSIÓN BASADA EN LA DESCOMPOSICIÓN ESPECTRAL PARA LA REFLECTIVIDAD SÍSMICA	234
CÁLCULO DE ATRIBUTOS EN DATOS PRE-ACONDICIONADOS	236
EL ACONDICIONAMIENTO DE LOS DATOS Y LA INVERSIÓN SÍSMICA	239
EL ACONDICIONAMIENTO DE LOS DATOS Y LAS REDES NEURONALES	241
III-10. LAS ANOMALÍAS Y SU ASOCIACIÓN ESPACIAL.	
EXTRACCIÓN DE GEOCUERPOS	243
1) INTERPRETACIÓN Y EXTRACCIÓN DE GEOCUERPOS A TRAVÉS DE	
MÚLTIPLES ATRIBUTOS, <i>CLUSTERS</i> NATURALES Y <i>MACHINE LEARNING</i>	251
DEL ESPACIO DE LEVANTAMIENTO AL ESPACIO DEL ATRIBUTO	258
MUESTRA DE MÚLTIPLES ATRIBUTOS Y CONJUNTO DE ATRIBUTOS EN EL ESPACIO DE LOS ATRIBUTOS	259
<i>CLUSTERES</i> NATURALES EN EL ESPACIO DE LOS ATRIBUTOS	259
UN SOLO <i>CLUSTER</i> NATURAL	259
MUESTRA DE GEOCUERPO Y CONJUNTO DE GEOCUERPOS EN UN LEVANTAMIENTO	260
UN SOLO GEOCUERPO EN EL ESPACIO DEL LEVANTAMIENTO	260
UN GEOCUERPO NO ES UN <i>CLUSTER</i> NATURAL	260

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

UN CLUSTER NATURAL ES UNA IMAGEN DE UN GEOCUERPO.....	261
INVERSIÓN DE GEOCUERPOS DESDE UNA PERSPECTIVA MATEMÁTICA.....	261
EL ATRIBUTO DEL ESPACIO DE ILUMINACIÓN	262
LA DIMENSIONALIDAD.....	262
INVERSIÓN DE UN GEOCUERPO A PARTIR DE LA PERSPECTIVA DE LA INTERPRETACIÓN.....	263
EL GEOMODELO.....	263
TRABAJANDO POR DEBAJO DEL MÍNIMO ESPESOR SÍSMICO CLÁSICO.....	263
2) DETECCIÓN DE GEOCUERPOS MEDIANTE ALGORITMOS DE SEGMENTACIÓN.....	264
SELECCIÓN DE SEMILLAS (<i>SEEDS</i>), RANGOS Y VARIABLES.....	267
VISUALIZACIÓN DE GEOCUERPOS MEDIANTE ALGORITMOS.....	269
III-11. LA MICROSÍSMICA	271
DEFINICIONES	271
CARACTERÍSTICAS GENERALES	274
CALIBRACIÓN DE MODELOS GEOMECÁNICOS.....	285
INTERPRETACIÓN DE LAS MAGNITUDES DE LOS EVENTOS.....	287
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DEL MONITOREO MICROSÍSMICO.....	288
UBICACIÓN DE LA FRACTURA EN TIEMPO REAL	288
ESTIMACIÓN DE LA ANISOTROPÍA.....	289
GEOMECÁNICA DE YACIMIENTOS.....	289
COALESCENCIA DE LAS SEÑALES PROVENIENTES DE MÚLTIPLES RECEPTORES	290
III-12. GEOMECÁNICA SÍSMICA	299
LA GEOMECÁNICA.....	299

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

LA GEOMECÁNICA SÍSMICA. ANÁLISIS Y EXPRESIONES	302
LA ECUACIÓN DE ONDA Y LAS VELOCIDADES.....	302
LAS CONSTANTES ELÁSTICAS	304
MÓDULO DE CORTE O RIGIDEZ (μ)	305
MÓDULOS ELÁSTICOS MEJOR QUE VELOCIDADES	306
ENMASCARAMIENTO DEL CONTENIDO DE FLUIDOS	306
LA RELACIÓN DE POISSON	308
EL PARÁMETRO λ/μ	309
EL ROL DE LA DENSIDAD Y EL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN.....	309
UN MODELO DE DOS TÉRMINOS: OBTENCIÓN DE $\lambda\rho$, $\mu\rho$ Y λ/μ	309
LOS ATRIBUTOS GEOMECÁNICOS SÍSMICOS	310
III-13. LA INTERPRETACIÓN EN RESERVORIOS NO CONVENCIONALES.....	315
GENERALIDADES.....	315
ALGUNAS CONSIDERACIONES	316
INTERPRETACIÓN SÍSMICA Y METODOLOGÍA	321
OPTIMIZACIÓN DEL DATO SÍSMICO	322
ATANDO CABOS SÍSMICOS, UNA PRIMERA APROXIMACIÓN A LA REALIDAD GEOLÓGICA	323
INTERRELACIÓN DE LOS ATRIBUTOS Y CO-VISUALIZACIONES. EN BUSCA DE ASOCIACIONES Y NEXOS	325
EL INCREMENTO DE LAS FRECUENCIAS Y SU IMPACTO EN LA DEFINICIÓN DE GEOCUERPOS	327
LAS IMPEDANCIAS, RECORRIENDO EL CAMINO INVERSO.....	327
LOS ATRIBUTOS GEOMECÁNICOS SÍSMICOS, UN PUNTO DE VISTA ROBUSTO.....	329

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

MICROSÍSMICA Y MONITOREO DE RESERVORIOS INDUCIDOS DE BAJA PERMEABILIDAD	336
CARACTERÍSTICAS DEL USO DE LA DESCOMPOSICIÓN ESPECTRAL	339
COMENTARIOS ADICIONALES	341
III-14. LA TOMOGRAFÍA SÍSMICA	343
LA TOMOGRAFÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS CORRECCIONES ESTÁTICAS	343
LAS CORRECCIONES ESTÁTICAS Y LA INVERSIÓN TOMOGRÁFICA	345
LA TOMOGRAFÍA ENTRE POZOS (<i>CROSSHOLE</i>)	347
LA TOMOGRAFÍA SÍSMICA Y EL MODELO TOMOGRÁFICO PROCESADO	348
EL MODELO TOMOGRÁFICO PROCESADO Y EL DATO SÍSMICO	353
EL MTP EN SITUACIONES GEOLÓGICAS COMPLEJAS	356
DE MODELOS SIMPLES A COMPLEJOS	357
III-15. LA INVERSIÓN DE TRAZAS SÍSMICAS	367
DEFINICIONES	367
INVERSIÓN POR RECURSIVIDAD	369
MÉTODOS <i>SPARSE-SPIKE</i> DE INVERSIÓN	370
INVERSIÓN BASADA EN UN MODELO	373
<i>TRAVEL-TIME INVERSION</i> (TOMOGRAFÍA)	374
INVERSIÓN CON AVO (AMPLITUD VERSUS <i>OFFSET</i>)	375
INVERSIÓN ACÚSTICA	377
INVERSIÓN GEOESTADÍSTICA	378
EVALUACIÓN PETROFÍSICA	379
ESTIMACIÓN DE LA ONDÍCULA Y CORRELACIÓN SÍSMICA - POZOS	381

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE BAJAS FRECUENCIAS.....	383
MODELO DE VELOCIDADES SÍSMICAS.....	384
ANÁLISIS AVA / AVO EN LA INVERSIÓN GEOESTADÍSTICA.....	385
HISTOGRAMAS Y VARIOGRAMAS.....	385
III-16. AMPLITUD VERSUS <i>OFFSET</i>	395
DEFINICIONES.....	395
MODELADO MEDIANTE LAS ECUACIONES LINEALIZADAS DE ZOEPPRITZ.....	397
ECUACIÓN DE BORTFELD (1961).....	397
ECUACIÓN DE AKI Y RICHARDS (1980).....	397
ECUACIÓN DE SHUEY (1985).....	398
ECUACIÓN DE SMITH Y GIDLOW (1987).....	399
ECUACIÓN DE HILTERMAN Y VERM (1995).....	399
AMPLITUD VERSUS <i>OFFSET</i> A TRAVÉS DEL MODELADO SIMPLIFICADO.....	400
ANÁLISIS DE AMPLITUD VERSUS <i>OFFSET</i>	406
EFFECTO DE LA FASE DE LOS <i>GATHERS</i> EN EL INTERCEPTO Y EL GRADIENTE.....	406
AVO EN DATOS SUMADOS.....	407
ATRIBUTOS AVO, <i>CROSSPLOTS</i> Y <i>GATHERS</i> ANTES DE SUMA. APLICACIÓN DE ESTOS CONCEPTOS A LA INTERPRETACIÓN.....	409
ATRIBUTOS DE AVO.....	410
INDICADOR DE HIDROCARBUROS (<i>HDI</i>).....	411
FACTOR DE FLUIDO.....	411
<i>CROSSPLOTS</i> DE AVO.....	412

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

INTERPRETACIÓN DE AVO. RECOMENDACIONES	414
III-17. ATRIBUTOS Y META-ATRIBUTOS	417
META-ATRIBUTOS A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE <i>MRC</i>	417
LA GENERACIÓN DE META-ATRIBUTOS	421
EVOLUCIÓN DE LOS META-ATRIBUTOS	423
DISTINTAS COMBINACIONES DE ATRIBUTOS	425
DETECCIÓN DE FALLAS Y ACONDICIONAMIENTO DE LOS DATOS	430
III-18. REPETICIÓN Y MONITOREO SÍSMICO. SUS PROYECCIONES	433
GENERALIDADES	433
MODELADO Y REPETITIVIDAD	435
PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	437
FACTORES QUE CONTROLAN LA VIABILIDAD DEL PROYECTO	438
CARACTERÍSTICAS DEL RESERVORIO	438
CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS	440
CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS	440
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	441
DISEÑO DEL PROGRAMA 4D	442
GEOMETRÍA DE LA ADQUISICIÓN	443
MANEJO DE YACIMIENTOS A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN MEJORADA POR LA SÍSMICA	443
SECCIÓN IV	
IV-1. SECUESTRO Y ALMACENAMIENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)	451
GEOFÍSICA Y GEOSECUESTRO	451
EL ROL DE LA GEOFÍSICA	453

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

SÍSMICA 4D: <i>TIME LAPSE</i>	454
IV-2. SÍSMICA Y ENERGÍA GEOTERMAL.....	455
IV-3. LA SÍSMICA Y LA EXPLORACIÓN DEL LITIO	457
IV-4. <i>MACHINE LEARNING</i> E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN SÍSMICA	459
IV-5. SÍSMICA PASIVA, RELACIÓN CON ACTIVIDADES HUMANAS.....	461
DEFINICIONES	451
SISMICIDAD INDUCIDA.....	451
MÉTODO DE SÍSMICA PASIVA <i>HVSR</i>	463
ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA	465
MARCO DE REFERENCIA PARA LA ACTUACIÓN FRENTE A LA OCURRENCIA DE EVENTOS SÍSMICOS POTENCIALMENTE INDUCIDOS.....	467
CONCLUSIONES	468
SECCIÓN V	
V-1. EL TRABAJO MULTIDISCIPLINARIO Y LA SINERGIA EN UN PROYECTO	471
GENERALIDADES.....	471
VIABILIDAD DE LA GESTIÓN	472
LA IMPORTANCIA DEL TRABAJO EN EQUIPO.....	472
CARACTERÍSTICAS DE UN EQUIPO EFICAZ.....	472
VENTAJAS DEL TRABAJO EN EQUIPO	473
V-2. COMUNICACIÓN, REPORTES, SEGUIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN.....	475
GENERALIDADES.....	475
COMPONENTES PRINCIPALES DE UN REPORTE.....	476
V-3. EFICIENCIA Y EFICACIA EN UN PROYECTO INTEGRAL.....	479

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

GENERALIDADES.....	479
¿QUÉ ES LA EFICACIA?.....	480
¿QUÉ ES LA EFICIENCIA?	480
EFICACIA, EFICIENCIA Y LA EFECTIVIDAD	481
V-4. LA INTEGRACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL.....	483
GENERALIDADES.....	483
INTEGRACIÓN VERTICAL	483
PRINCIPALES OBJETIVOS	483
INTEGRACIÓN HORIZONTAL	484
PRINCIPALES OBJETIVOS	484
V-5. LA PERSPECTIVA Y EL PENSAMIENTO LATERAL.....	485
GENERALIDADES.....	485
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PENSAMIENTO LATERAL.....	486
ELEMENTOS DEL PENSAMIENTO LATERAL	487
TÉCNICAS DEL MÉTODO DEL PENSAMIENTO LATERAL	487
V-6. EL LIDERAZGO, UNA ACTITUD POSITIVA EN EL CRITERIO Y LA VISIÓN CREATIVA.....	489
GENERALIDADES.....	489
LAS ACTITUDES QUE DIFERENCIAN UN BUEN LÍDER	490
COMENTARIOS FINALES	493
BIBLIOGRAFÍA TEMÁTICA RECOMENDADA.....	497
ADQUISICIÓN SÍSMICA.....	497
AMPLITUD VERSUS <i>OFFSET</i>	497
ATRIBUTOS SÍSMICOS	498

Interpretación Sísmica
en la Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

BIG DATA	502
DESCOMPOSICIÓN ESPECTRAL	502
GEOMECÁNICA	503
INTERPRETACIÓN SÍSMICA	503
INVERSIÓN DE TRAZAS	504
MICROSÍSMICA	506
NO CONVENCIONALES	506
PETROSÍSMICA	507
PRODUCCIÓN	508
PROCESAMIENTO SÍSMICO	508
REDES NEURONALES	509
SÍSMICA PASIVA	510
SISMOESTRATIGRAFÍA	510
SISMOLOGÍA	510
TOMOGRAFÍA SÍSMICA	511
VELOCIDADES	512