



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Avenços en l'adquisició i interpretació de dades geoelectriques

Fabián Bellmunt Traver

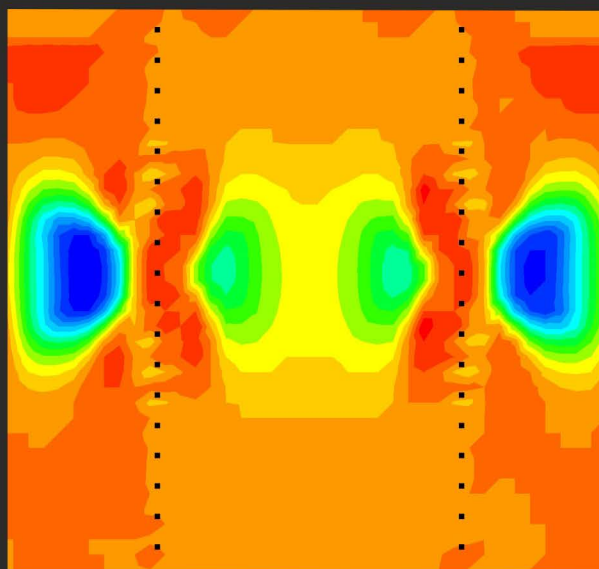
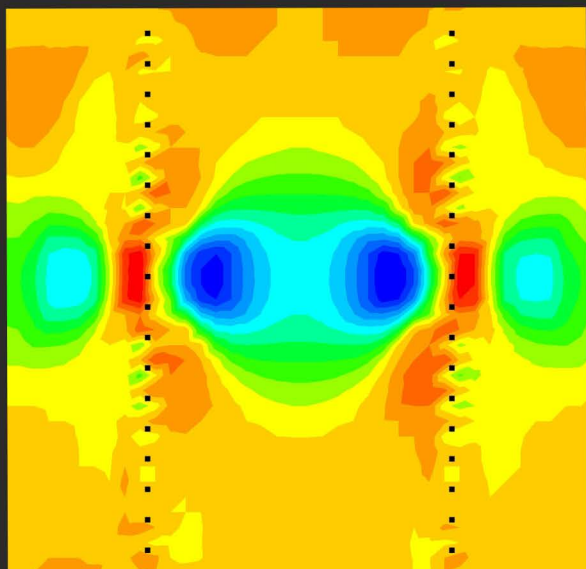
ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

Avenços en l'adquisició i interpretació de dades geoelèctriques

Fabián Bellmunt Traver
Tesi Doctoral



Director i Tutor:
Dr. Alejandro Marcuello Pascual

Barcelona, 2015

Grup d'Exploració Electromagnètica i Sísmica
Institut de Recerca Geomodels
Departament de Geodinàmica i Geofísica
Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona



Grup d'Exploració Electromagnètica i Sísmica
Institut de Recerca Geomodels
Departament de Geodinàmica i Geofísica
Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona

Avenços en l'adquisició i interpretació de dades geoelèctriques

Memòria presentada per Fabián Bellmunt Traver per a optar al títol de Doctor dins del programa de doctorat de Ciències de la Terra de la Universitat de Barcelona. Aquesta memòria ha estat realitzada baix la direcció del Dr. Alejandro Marcuello Pascual (Universitat de Barcelona).

Fabián Bellmunt Traver
Barcelona, Setembre 2015

Dr. Alejandro Marcuello Pascual
Director y tutor de la tesi

Els següents projectes i grups d'investigació han finançat parcialment aquesta tesi:

PIERCO2 (CGL2009-07604)

Geothercan (IPT-2011-1186-920000)

Grup d'Exploració Electromagnètica i Sísmica (EXES-UB)

Grup de Recerca de Geodinàmica i Anàlisi de Conques (GGAC)

En memòria de S. Dotor

Agraïments

La consecució d'aquesta tesi no hauria estat possible sense l'ajuda i el recolzament de les persones que tinc més a prop, tant en el camp personal com en el de la universitat. A totes elles els vull dedicar aquest treball.

Dins el camp universitari, vull començar agraint al director i tutor d'aquesta tesi, el Dr. Alejandro Marcuello Pascual, el seu suport, consells, paciència i temps dedicat, molt de temps, sense els quals aquesta tesi no hauria estat possible. Gràcies Àlex! També agrair al Dr. Juanjo Ledo i a la Dra. Pilar Queralt la seva ajuda i ànims constants, tant amb la tesi com en la resta de projectes que hem compartit.

Gràcies també a tots els companys de feina, tant als que encara hi són: Eloi, Lena, David, Manu, Marta, Mar, Cristina, com als que ja han marxat: Oriol, Miquel, Ester, Joan, Perla, Xènia, Anna, i espero no deixar-me ningú, per les estones (hores i hores) de treball, dinars, cafès, berenars i altres. L'ambient de treball ha estat sempre molt acollidor, que no és poc.

Moltes gràcies també als membres del grup de Geofísica aplicada de l'ICGC: Bea, Anna, Albert i Sara, per les seves col·laboracions i suport, tant en l'àmbit professional com en el personal. Ara sí! Moltes gràcies!

A tots els membre del departament de Geodinàmica i Geofísica, i també a les persones d'altres centres que han col·laborat i/o ajudat en les tasques de camp i publicacions, Violeta, Enric, Linda, etc.

Dins del camp personal, vull donar les gràcies als meus pares, ja que sempre us he tingut al costat. Gràcies per tot! També als meus germans pel seu recolzament. Gràcies Jose, ja ho tenim. A Simón, Carlos, Pere, Andrea, i altres per les desconexions de cap de setmana. I a Eva per animar-me sempre i estar al meu costat. Moltes gràcies!

Gràcies a tot@s per aquesta tesi!

ÍNDIX

Llista de Figures	iii
Llista de Taules	ix
Resum/Summary	xi
Presentació	xv
Objectiu de la tesi.....	xvi
Estructura de la memòria de la tesi.....	xvii
Capítol 1. Aspectes generals de la Tomografia Elèctrica de Resistivitat	1
1.1. Conceptes bàsics	2
1.1.1. Resistivitat elèctrica.....	2
1.1.2. Resistivitat aparent.....	7
1.1.3. Teorema de reciprocitat.....	8
1.2. Aplicació de la tomografia elèctrica de resistivitat	9
1.2.1. Muntatge en camp	9
1.2.2. Adquisició de dades.....	11
1.2.2.1. Configuracions d'ERT	12
1.2.2.2. Configuracions de CHERT.....	14
1.2.2.2.1. Penetració lateral	15
1.2.2.2.2. Amplitud del senyal	16
1.2.2.2.3. Sensibilitat	18
1.2.2.3. Generació de dades per combinació	20
1.2.3. Representació de les dades	23
1.2.4. Inversió de dades	25

Capítol 2. Resum dels resultats	27
2.1. Estratègies d'adquisició.....	28
2.1.1. Caracterització d'estructures.....	28
2.1.2. Seguiment de processos dinàmics	32
2.2. Experiment de seguiment amb CHERT	39
Capítol 3. Discussió dels resultats	47
3.1. Estratègies d'adquisició	48
3.1.1. Caracterització d'estructures.....	48
3.1.2. Seguiment de processos dinàmics	49
3.1.3. Metodologies d'aplicació de les estratègies desenvolupades	56
3.1.3.1. Caracterització d'estructures.....	56
3.1.3.2. Seguiment de processos dinàmics	57
3.2. Experiment de seguiment amb CHERT	57
Capítol 4. Conclusions i treballs futurs	63
4.1. Estratègies d'adquisició	64
4.2. Experiment de seguiment.....	65
4.3. Treballs futurs.....	66
Referències	67
Annex	75

LLISTA DE FIGURES

Figura 1.1. Esquema del rang de variació de la resistivitat elèctrica en algunes roques i minerals (modificat de Palacky, 1987).	3
Figura 1.2. Distribució del corrent injectat en un medi homogeni i isòtrop. Modificat de Everett (2013).	4
Figura 1.3. Distribució del potencial elèctric per a una font de corrent, A, situada en la superfície d'un semiespai infinit de resistivitat uniforme. Modificat de Everett (2013).	4
Figura 1.4. Distribució del potencial elèctric amb l'ús de dos fonts de corrent, A i B, i dos elèctrodes de mesura del potencial, M i N, situats en la superfície d'un semiespai infinit de resistivitat uniforme. Modificat de Everett (2013).....	5
Figura 1.5. Representació de les distàncies entre les imatges simètriques respecte de la superfície dels elèctrodes de corrent i els de potencial per al càlcul del factor geomètric en mesures amb elèctrodes en fondària. Modificat de Marescot (2006).....	6
Figura 1.6. Geometries normal i recíproca d'una combinació d'elèctrodes tetra-electròdica.....	8
Figura 1.7. Etapes d'utilització de la tomografia elèctrica de resistivitat.....	9
Figura 1.8. Representació de la disposició dels elèctrodes i adquisició multicanal d'una tomografia elèctrica des de la superfície (part esquerra) i entre pous (part dreta). A i B: elèctrodes d'injecció del corrent (I); M i N: elèctrodes de mesura del potencial (V), on s'ha afegit numeració per a simbolitzar una adquisició multicanal.....	10
Figura 1.9. Representació geomètrica d'alguns dispositius tradicionals en ERT: Wenner, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol i pol-dipol. "a" representa la distància entre els elèctrodes M i N; "n" és factor de separació entre els dipols AB i MN.....	13
Figura 1.10. Disposicions geomètriques generals dels dispositius tipus H, I, X i L. Classificació establerta per a les configuracions de CHERT a partir de la posició dels dipols en els pous involucrats en les mesures. A i B representen el dipol d'injecció de corrent (vermell), i M i N, el de mesura del potencial (blau).....	15

- Figura 1.11. Distribució de les línies de corrent i equipotencials en un plànol vertical al llarg de les línies d'elèctrodes-pous (línies negres verticals) amb l'ús dels dispositius tipus H (part esquerra) i tipus I, X, L (part dreta). Les línies discontinües indiquen que l'efecte de la superfície és menyspreable.....16
- Figura 1.12. Distribució de les línies de corrent i de potencial elèctric en un plànol vertical que inclou els dos pous amb els elèctrodes de corrent en pous diferents i amb una certa inclinació.17
- Figura 1.13. Seccions de sensibilitat dels dispositius CHERT. De esquerra a dreta: dispositiu tipus H: CH AB-MN, tipus I: CH AM-BN i tipus L: CH AMN-B. A i B representen els elèctrodes de corrent, M i N els de potencial, i els punts negres verticals, la posició dels elèctrodes en els pous.....19
- Figura 1.14. Sensibilitat acumulada típica de mesures de CHERT amb el dispositiu tipus I.20
- Figura 1.15. Diagrama on es representa l'aplicació de la llei d'addició del potencial elèctric per a la generació de les dades d'una variant Wenner del sistema tri-potencial. A i B: representen els elèctrodes d'injecció del corrent; M i N: elèctrodes de mesura de la diferència de potencial; R: resistència normalitzada pel corrent injectat ($R\alpha$:Wenner alfa, $R\beta$: Wenner beta i $R\gamma$: Wenner gamma, del sistema tri-potencial).21
- Figura 1.16. Ús del dispositiu pol-pol per a la generació d'una dada del dispositiu tetra-electròdic dipol-dipol. A i B: representen els elèctrodes d'injecció del corrent; M i N: elèctrodes de mesura de la diferència de potencial; R_i i R_{dd} : resistència obtinguda amb la combinació d'elèctrodes $AiMi$ (i els elèctrodes a l'infinit B i N) i la calculada per al dispositiu dipol-dipol, respectivament.....22
- Figura 1.17. Representació de la construcció d'una pseudosecció de dades del dispositiu dipol-dipol. La posició horitzontal és el punt mig entre els dipols d'injecció i de potencial, i la vertical, el valor "n" de cada combinació utilitzada.....24
- Figura 1.18. Model de resistivitat i pseudoseccions de dades dels dispositius dipol-dipol (a=1 i 2), Wenner, Wenner-Schlumberger i una conjunta amb totes les dades (*whole pseudosection*).24
- Figura 1.19. Diagrama de dispersió amb dades CHERT. L'eix "x" representa el número de dada, ordenat en funció de la fondària del transmissor (AB/2) i l'eix "z", la resistivitat aparent.....25
- Figura 2.1. Geometria de les combinacions d'elèctrodes utilitzades per a l'adquisició del dispositiu PD tradicional (a) i el pPD en sentit directe (b) i invers (c). AB i MN representen els elèctrodes de corrent i de potencial, respectivament; "a" representa la distància entre els elèctrodes M i N; "n" és factor de separació entre els dipols AB i MN; "m" és un factor de distància AB..... 29

- Figura 2.2 Esquema del procés de generació de dades dels dispositius a) dipol-dipol i b) Wenner-Schlumberger, a partir del dispositiu generador pPD. R_1 i R_2 : resistències mesurades amb el dispositiu pPD en una mateixa direcció d'adquisició; R_{cdd} : resistència dipol-dipol calculada a partir de dues dades del dispositiu pPD; R_{cws} : resistència Wenner-Schlumberger calculada; R_α i R_β : resistències mesurades amb el dispositiu generador pPD- α i pPD- β , respectivament. 29
- Figura 2.3. Pseudoseccions amb els resultats de l'aplicació de l'estratègia desenvolupada a les adquisicions realitzades a Castellbisbal (Barcelona). Els punts negres representen les dades. En la part superior es presenten les pseudoseccions de resistivitat aparent mesurades directament amb el dispositiu dipol-dipol (part esquerra) i Wenner-Schlumberger (part dreta). En la part central, les pseudoseccions de dades dipol-dipol (part esquerra) i Wenner-Schlumberger (part dreta) calculades amb les dades pPD que van superar el control de qualitat. Finalment, en la part inferior es presenta una pseudosecció on s'han marcat en color gris les dades que no van passar el control de qualitat amb un nivell llindar d'error del 10%. 31
- Figura 2.4. Pseudoseccions amb els resultats de l'aplicació de l'estratègia desenvolupada a les adquisicions realitzades a La Puebla de Roda (Huesca). Els punts negres representen les dades. En la part superior es presenten les pseudoseccions de resistivitat aparent mesurades directament amb el dispositiu dipol-dipol (part esquerra) i Wenner-Schlumberger (part dreta). En la part central, les pseudoseccions de dades dipol-dipol (part esquerra) i Wenner-Schlumberger (part dreta) calculades a partir de les dades del dispositiu generador que van passar el control de qualitat. En la part inferior, les pseudoseccions on s'han marcat en color gris les dades que no van passar el control de qualitat. 32
- Figura 2.5. Esquema de distribució dels elèctrodes per als dispositius CH dipol-dipol (CH AM-BN i CH AB-MN) i CH pol-tripol amb el dipol MN en els dos pous (AMN-B/A-BMN). Les lletres majúscules i els punts vermells/blaus designen el nom de l'elèctrode i la seva posició en fondària (A i B representen els elèctrodes de corrent i, M i N, els de potencial); AM: distància vertical entre els elèctrodes de corrent i de potencial; MN: distància vertical entre els elèctrodes de potencial..... 33
- Figura 2.6. Model i etapes utilitzades per simular la injecció i migració d'un plomall. Els quadrats negres verticals representen la posició dels elèctrodes en els pous BH1, BH2 i BH3; La fletxa negra i els quadrats amb diferents tonalitats de color gris (amb les lletres A, B i C) simulen la migració del plomall en tres etapes. Els panells entre els pous s'han colorat amb diferents tonalitats de gris per a diferenciar les mesures CHERT adquirides entre els pous BH1 i BH2 (panell 1) i entre els pous BH2 i BH3 (panell 2)..... 33

Figura 2.7. Representació de les corbes de l'AD (part superior) i de l'IOS (part inferior) obtingudes per als dispositius CH AM-BN (MN=0), CH pol-tripol (MN=1) i CH AB-MN (MN=1) en les tres etapes de migració (stage A, B i C) del model presentat amb un contrast de resistivitat, $R_c=0.1$	35
Figura 2.8. Models de resistivitat obtinguts amb la inversió dels dispositius CH pol-tripol i CH AB-MN, tant individualment (part superior), com en un conjunt mixt de dades (<i>mixed</i>), i del dispositiu optimitzat (part inferior: <i>organized dataset</i>). Contrast de resistivitat, $R_c=0.1$	37
Figura 2.9. Models de resistivitat obtinguts amb la inversió dels dispositius CH pol-tripol i CH AB-MN, tant individualment (part superior), com en un conjunt mixt de dades (<i>mixed</i>), i del dispositiu optimitzat (part inferior: <i>organized dataset</i>) amb un contrast de resistivitat, $R_c=10$	38
Figura 2.10. Ubicació del barri de Sant Cosme, El prat de Llobregat.	39
Figura 2.11. Recorregut de la línia L9 del metro de Barcelona. La parada de Sant Cosme es situa a l'esquerra del recorregut, en les proximitats de la zona d'estudi.	39
Figura 2.12. Detall del capçal de perforació d'una màquina tuneladora.	39
Figura 2.13. Esquema d'ubicació dels pous, nivell freàtic i profunditat prevista per al túnel.	40
Figura 2.14. Fotografies de l'experiment: 1-2) Prova de muntatge dels elèctrodes permanents i detall d'un elèctrodes de malla d'acer de 0.3 x 0.1 m; 3-4) Cable amb elèctrodes per introduir directament en els pous i detall d'un elèctrode; 5-6) Instal·lació dels elèctrodes permanents i resultat final; 7-8) Cables de connexió elèctrodes-equip d'enregistrament i realització de mesures.	41
Figura 2.15. Diferents vistes de la pseudosecció 3D que inclou totes les dades del dispositiu CH AM-BN enregistrades el durant la perforació del túnel (dia 23/03/08). Els punts de color negres representen les dades.	43
Figura 2.16. Representació de les pseudoseccions 2D de la configuració CH AM-BN per a diferents distàncies MN. Els punts negres representen les dades.	43
Figura 2.17. Pseudoseccions 2D de resistivitat aparent de les dades de l'experiment de seguiment de la perforació del túnel de la línia L9 del metro de Barcelona. A), B) i C) corresponen a les pseudoseccions de les dades CHERT enregistrades abans, durant i després del pas de la tuneladora, respectivament, amb una coordenada $y=0$ en tots tres casos.	44
Figura 2.18. Models de variació de la resistivitat obtinguts a partir de la inversió condicionada. La línia discontinua representa la secció prevista del túnel.	44

Figura 2.19. Models de variació de la resistivitat obtinguts a partir de la diferència de models. La línia discontinua representa la secció prevista del túnel.	45
Figura 2.20. Models de variació de la resistivitat obtinguts a partir de la inversió del quocient. La línia discontinua representa la secció prevista del túnel.....	45
Figura 3.1. Corbes d'AD dels dispositius CH dipol-dipol (CH AM-BN i CH AB-MN) per a diferents distàncies AM i MN en les tres etapes de migració (stage A, B i C). Les fletxes blaves i vermelles indiquen el pic de detecció primari i secundari, respectivament, observats per al dispositiu CH AM-BN, i les fletxes i cercles de color negre marquen la zona on els valors d'AD són extremadament elevats per al dispositiu CH AB-MN.....	50
Figura 3.2. Representació del factor geomètric de les configuracions per al medi homogeni. A) Dispositius tipus I: CH AM-BN; B) Dispositius tipus H: CH AB-MN; C) Dispositius tipus L: CH pol-tripol (AMN-B/A-BMN), en funció de diferents distàncies AM i MN.	51
Figura 3.3. Models d'inversió obtinguts en l'etapa "B" de migració amb l'addició de mesures als dispositius CH pol-tripol i CH AM-BN (veure text). El requadre blanc representa la posició del cos.	52
Figura 3.4. Seccions de sensibilitat de les configuracions de CHERT. D'esquerra a dreta: dispositiu tipus H: CH AB-MN, tipus I: CH AM-BN i tipus L: CH pol-tripol. Les zones de sensibilitat negativa s'han pintat de color blau i les de sensibilitat positiva de color taronja. A i B representen els elèctrodes de corrent, M i N els de potencial, i els punts negres verticals, la posició dels elèctrodes en els pous BH1 i BH2. La zona blanca indica valors de sensibilitat menors del 2-2.5% del total.....	53
Figura 3.5. Secció de sensibilitat calculada per a un medi homogeni amb una font de corrent (A) i un receptor del potencial (M) en mesures de CHERT entre dos pous, BH1 i BH2. Els punts negres verticals indiquen la posició dels elèctrodes en els pous. Les línies negres discontinua i contínua delimiten la regió on es concentra el 80% i 90% del valor total de la sensibilitat, respectivament. La línia grisa es correspon amb l'equipotencial zero.	54
Figura 3.6. Comportament de la resistivitat aparent mesurada amb un dispositiu CH pol-pol considerant diferents posicions (dins i fora del panell entre els pous) i contrastos (medi homogeni de 100 ohm·m i un cos de secció quadrada de 10 i 1000 ohm·m) per a la mateixa anomalia.....	54
Figura 3.7. Models d'inversió obtinguts per a l'etapa "A" de migració amb els dispositius CH pol-tripol i CH AM-BN i diferents distàncies MN.	55
Figura 3.8. Model de resistivitat i pseudoseccions de dades del dispositiu CH AM-BN amb distàncies AM=BN i $ZA \geq ZB$	60

Figura 3.9. Model de resistivitat i pseudoseccions de dades del dispositiu CH pol-tripol.
Només s'ha utilitzat una distància MN. 61

LLISTA DE TAULES

Taula 2.1. Característiques dels perfils 2D adquirits en les campanyes d'ERT.....	30
Taula 2.2. Calendari de les adquisicions CHERT durant l'experiment de monitoratge.	42

Resum

La tomografia elèctrica de resistivitat és una tècnica geofísica no intrusiva àmpliament utilitzada en la caracterització de les propietats elèctriques del subsòl i, més recentment, en el seguiment de processos dinàmics, tant amb elèctrodes en superfície com en fondària. Un dels aspectes clau en la seva utilització és l'elecció de la configuració més adient a cada context. Si s'utilitzen elèctrodes en fondària aquesta elecció no és fàcil, ja que les capacitats d'aquest tipus de configuracions no estan tan establertes com les de superfície. A més, en el cas d'estudis de seguiment de processos dinàmics pot ser necessari reduir el nombre de dades de les configuracions per a ajustar el temps d'adquisició a la durada del procés a seguir. La utilització de la tomografia elèctrica amb elèctrodes en fondària i la seva aplicació per al seguiment de processos dinàmics implica situar dels elèctrodes en pous i utilitzar noves tècniques d'inversió per a l'obtenció dels models de les variacions de la resistivitat en l'experiment.

Els objectius principals d'aquesta tesi han estat cercar estratègies d'adquisició de dades que permetin simplificar l'elecció de la configuració més adient reduint alhora el temps de registre, i comparar diferents tipus d'instal·lacions d'elèctrodes en pous i diferents tècniques d'inversió per a l'obtenció dels models de variació de la resistivitat del subsòl en estudis de seguiment.

En aquesta tesi es presenten dues estratègies d'adquisició i el disseny d'un experiment de seguiment de la perforació del túnel de la nova línia L9 del metro de Barcelona. La primera estratègia es va desenvolupar a partir de l'estudi de la llei d'addició del potencial, el teorema de reciprocitat i les relacions entre diferents configuracions. Aquesta estratègia es va centrar en estudis de caracterització amb elèctrodes en superfície i es va validar mitjançant simulacions i dades experimentals. Es va crear una nova configuració tetra-electròdica capaç de generar les dades dels dispositius Wenner-Schlumberger i dipol-dipol, però amb un menor temps d'adquisició. A més, es va introduir un control de qualitat de les dades, semblant al que s'obtidria comparant dades normals i recíproques, sense augmentar el temps de registre.

En la segona estratègia es va quantificar la detecció d'anomalies i la simetria en el patró de sensibilitat de les configuracions d'elèctrodes. Aquesta estratègia es va centrar en les configuracions d'elèctrodes en pous i es va validar mitjançant la simulació d'un experiment de seguiment de la migració d'un plomall. A partir dels resultats obtinguts es va crear una configuració optimitzada utilitzant les combinacions d'elèctrodes amb els majors valors de detecció d'anomalies i amb la menor simetria en el patró de sensibilitat. Aquesta configuració optimitzada va permetre reduir d'una manera important el temps d'adquisició i mantenir la resolució espacial necessària per a resoldre l'experiment plantejat.

L'experiment de seguiment de la perforació del túnel de la línia L9 del metro de Barcelona va incloure la fabricació i instal·lació dels elèctrodes en pous, i la comparació entre diferents tècniques d'inversió per a l'obtenció dels models de variació de la resistivitat durant la perforació. La construcció i instal·lació dels elèctrodes en els pous es va utilitzar per a establir els aspectes més importants a tenir en compte a l'hora d'escollir el tipus d'instal·lació desitjada, permanent o no permanent. La comparació entre les diferents tècniques d'inversió va permetre identificar la més adient i discriminar entre els canvis de resistivitat deguts a la perforació del túnel i els deguts al propi procés d'inversió.

Aquesta tesi suposa una contribució important en tomografia elèctrica, tant per a estudis de caracterització com de seguiment de processos dinàmics. Les estratègies desenvolupades permeten postergar l'elecció de la configuració d'elèctrodes més adient a cada context inclús després de la interpretació dels models de resistivitat i optimitzar les combinacions a enregistrar amb la finalitat d'ajustar el temps d'adquisició a les exigències de cada experiment mantenint una resolució espacial adequada. L'experiment realitzat va permetre establir una metodologia d'actuació en estudis de seguiment de processos dinàmics amb elèctrodes entre pous.

Summary

Electrical resistivity tomography is a non-intrusive geophysical technique widely used for subsurface electrical properties characterization and, more recently, for dynamic processes monitoring, both using surface and deep electrodes. A key aspect is the choice of the most suitable configuration in each context. If deep electrodes are used this choice can be difficult because the capabilities of such configurations are not as well established as the surface ones. Besides, in the case of monitoring experiments may be necessary to reduce the data quantity to adjust the acquisition time to the length of the process to be followed. The use of electrical tomography with deep electrodes and its application for monitoring involves placing the electrodes into boreholes and to use new inversion techniques to obtain the resistivity variations models.

The main objectives of this thesis is searching acquisition strategies to simplify the choice of the most suitable configuration while reducing the acquisition time, and evaluating different types of electrode installation into boreholes and different inversion techniques to obtain the resistivity variations models in monitoring experiments.

In this thesis, two acquisition strategies and the design of an experiment which consisted of monitoring the tunnel drilling of the new metro line, L9, in Barcelona, are presented. The first strategy was developed from the study of the potential addition law, the reciprocity theorem and the different configurations relationships. This strategy was focused on characterization studies with surface electrode and was validated by simulations and experimental data. It was created a new tetra-electrode configuration capable of generating data of the Wenner-Schlumberger and dipole-dipole arrays, but with less acquisition time. In addition, it was introduced a data quality control, similar to the obtained by comparing normal and reciprocal measurements, but without increasing the acquisition time.

The second strategy consisted of quantifying the anomaly detection and the symmetry on the sensitivity pattern of the electrode configurations. This strategy was focused on configurations with deep electrodes and validated through the simulation of a migration experiment. From the results it was created an optimized configuration using the electrode

combinations with the highest anomaly detection values and the lowest symmetry in the sensitivity pattern. This optimized configuration allowed greatly reducing the acquisition time and maintaining the spatial resolution needed to resolve the simulated experiment.

The monitoring experiment of the tunnel drilling of the metro line, L9, in Barcelona included the manufacture and installation of the electrodes into boreholes, and the comparison between different inversion techniques to obtain the resistivity variation models. The construction and installation of the electrodes into the boreholes was used to establish the most important aspects to be considered when the type of installation has to be chosen, permanent or not permanent. The comparison between different inversion techniques allowed us to identify the most suitable one and to discriminate between changes in resistivity due to the drilling process and due to the inversion process.

This thesis is an important contribution to electrical tomography, for both characterization and dynamic processes monitoring studies. The strategies developed here allow delaying the choice of the most suitable electrode configuration even after the interpretation of the resistivity models and optimizing configurations to adjust its acquisition time to the requirements of each experiment maintaining an adequate spatial resolution. The monitoring experiment allowed us to establish a methodology in monitoring experiments with deep electrodes.