

第5章 プロジェクト実施運営上の工夫、教訓及び PDM の変遷

5.1 プロジェクト実施運営上の工夫、教訓

(1) 技術移転計画

本技術移転事業では、噴気試験及び噴気試験に伴う環境モニタリングに必要な地熱資源調査技術を OJT や講義を通して実施した。現地の自然環境が厳しい中で技術的なレベルを維持し、環境に優しい試験作業を実施するための実施方法の検討や試験機材の調達に時間を要した。また噴気試験の実施において幾つかの技術について、やむを得ない理由から予想した機能を得る事ができないものもあった(スケール付着によるボルテックス流量計、TFT のガスクロマトグラフの不具合、SM-2 及び SM-5 のスケール付着、雨量計のタンクビス止め)。一方で、噴気試験では 2 重 3 重の補完技術を施しており、重要なデータの取得には問題はなかった。また問題の発生自体が、問題の把握、分析及び解決過程と教育的に有効な側面もあった。総合して技術的な成果としてはほぼ満足した結果を示せたと考える。

またプロジェクトの実施に当たっては、世界でも類を見ない僻地・高地での厳しい自然環境における試験であることから、噴気試験及び環境モニタリングも現地の自然状況やインフラ設備、あるいは業者の能力などを見極める必要があり、プロジェクト計画の立案から始めて、予備調査、実施計画の策定及びその決定、さらに試験の実施及びデータ解析に至るまで、ENDE の技術者に対する現地 OJT 及び講義を通じた実践教育を実施しており、一連の過程を学べる非常に有意義な機会となった。

一方で、プロジェクト期間を通して、ENDE の技術者及び組織要員が安定しておらず、2011 年のプロジェクト開始時と 2012 年の噴気試験の実施の際の ENDE の地熱関係者の顔ぶれは殆ど全て入れ替わっていた。もし、ENDE の地熱組織がもう少し安定しておれば、より効率的で効果的な技術移転計画が立案可能であったと思われる。

また、移転技術のマニュアル化については、そもそも類似のマニュアルが存在しない中で、限定した技術範囲であるものの、ある程度満足すべき成果は示せたと考える。

(2) 供与機器について

本技術移転事業では、噴気試験及び噴気試験に伴う環境モニタリングに必要な試験装置や機器を導入した。僻地・高地での厳しい自然環境において自動化や作業の簡素化、さらに環境に優しい工事を実施しながら、高い品質のデータの取得を実現するために最新の技術の導入を図った。

主要な機材として、大容量の汽水分離が可能で移設が容易なボックス型サイレンサー、全自動化されたセンサー類、高精度で 2 相流量の測定が可能な化学トレーサーによる計測技術(TFT)、電子メモリー式の坑内温度、圧力及び流量スピナー検層システム(PTS)、キャピラリーチューブによる坑内圧力測定装置、敷設や撤去が容易で気密性や柔軟性に優れた高密度ポリエチレンパイプ(HDPE)、極地対応の耐久性に優れた全天候型気性観測装置や携帯型高精度硫化水素検知器などが挙げられる。これらの機材は、ソル・デ・マニャナにおける過酷な自然条件において予定した能力を発揮した。

個別の機器に関する習熟度については、TFT のガスクロマトグラフ機能や PTS、あるいはキャピラリーチューブなど、取扱にはより長い訓練や経験を要するものがあり、今回の噴気試験のみで習熟する事は到底無理がある。一方で、ガスクロマトグラフについては、基本的な操作については理解しており、今後自主的な学習により習熟度は増すことが期待できる。また PTS やキャピラリーチューブについては硫化水素を含む高圧ガスの取扱など ENDE 技術者が独自に学習や訓練を行う事は避けるべきであるし、

そもそもこれらの作業は専門家に任せたほうが良く、従って ENDE の技術者は、オーナーとしてこれらの技術の請負業者の選定や管理を行う能力を養う視点に立つべきと考える。今後、これらの技術の内容や役割、あるいは評価の方法を理解する様に、今回の噴気試験の経験を踏まえて今後独自に学習を続けられれば良い。

但し、高性能の測定装置は適切な保守プログラムを実施することが不可欠である。これにはメーカーでの定期的な計器の較正を含む。ENDE は、これらの機器の操作運用についての教育だけでなく保守管理もしっかりと実施していくべきである。

(3) 噴気試験及び環境モニタリング調査を踏まえた提言

前述したように、本事業のソル・デ・マニャナにおける噴気試験やそれに関わる環境モニタリングに必要な各技術をほぼワークプランに沿って実施して、ENDE の技術者に対する技術教育を実施することができたと考える。その結果、各技術についての技術移転先である ENDE の理解を深めることができ、地熱発電所の開発技術力の向上について一定の成果を上げることができたと判断される。ただし ENDE の地熱開発に従事する要員が一定していないこともあり、現在 ENDE 内で地熱開発に従事する要員の理解は必ずしも十分とは言えない。この他にもソル・デ・マニャナを始めとする同国の地熱開発に ENDE が主体的な役割を担うようになるには幾つかの課題の解決も必要であると認識され、事業終了後にソル・デ・マニャナの地熱発電所建設の段階に移行するといった本事業の目標を達成するためには、ENDE の事業実施能力のさらなる向上は必要であり、今後も ENDE に対する技術移転は必要であると考ええる。

即ち、ソル・デ・マニャナにおける今後の地熱開発は、地熱生産井や還元井の掘削や発電所の建設や運用と言った段階に進む事が予想されるが、ENDE がこれらの技術に関する知識や事業を実施するためのノウハウは絶対的に不足しており、ボリビアにおける地熱開発を成功裏に実施していくために、こうした技術や事業実施に関わるノウハウの移転は必要と考える。

5.2 PDM の変遷

本プロジェクトは、平成 23 年（2011 年）3 月に開始されたが、円借款を活用した地熱開発事業の実施について事業期間、事業コストを主な論点とした本邦とボリビア側との協議が長期化し、これに伴い附帯プロジェクトの進捗が遅れていた。その後、円借款案件継続に係る政府間ハイレベル協議を経て、ボリビア側より円借款による事業を実施継続する旨のレターが発出された。他方、附帯プロジェクトについてはプロジェクト当初に設定した協力期間が 2012 年 3 月末までとなっているものの、主な事業コンポーネントである噴気試験及び環境モニタリングに係る支援が未完了であることから、附帯プロジェクトの延長に係る協議を行うべく合同調整委員会（JCC）が開催され、関係機関で協力期間を一旦 2013 年 3 月まで延長することになった。

また、本事業の監督機関である炭化水素エネルギー省は、地熱開発事業の実施・監理経験がなく、地熱に係る専門的な技術・知識を必ずしも十分に有していないことから案件実施監理に係る能力強化を行う必要性が高いことが判明した。また、炭化水素エネルギー省及び ENDE に対して円借款への理解を深めるためには既に地熱開発を実施している中南米諸国においてスタディーツアーを実施し、当該国の有する地熱開発の経験共有を図ることが有効であると考えられた。

このような状況の中で、以下に示す業務について追加・変更が加えられた。

① 炭化水素エネルギー省の地熱開発事業における監理・監督能力の強化

地熱開発事業における炭化水素エネルギー省の監理・監督能力の強化を主な目的として、附帯プロにおける噴気試験及び環境モニタリングに係る知見等を深めるとともに、井戸掘削及びプラント建設段階に必要となる実施機関側の作業等について現解の促進を図る。作業内容は以下のとおり。

- 1) JICA 協力準備調査「ラグナ・コロラダ(ソル・デ・マニャーナ)地熱開発事業準備調査」(2010年)の調査結果について実施機関内で理解促進を図る。
- 2) 実施機関が行う国内外の掘削を中心とした蒸気供給に関連するコストの調査を支援する。
- 3) 掘削業務発注前の準備業務、掘削業者向けの入札書類作成に必要な情報の整理と準備支援
- 4) 地熱井掘削から蒸気供給までの掘削段階における実施ユニットの役割、責任範囲、作業内容に関し理解促進
- 5) プラント設計から試運転までのプラント建設段階における実施ユニットの役割、責任範囲など、実施機関の業務内容について理解促進。
- 6) コンサルタント調達前(入札書類作成・設計)までに必要となる実施機関の業務内容について理解促進と実施支援

② 関係者を対象とした中南米地熱開発国へのスタディーツアーの実施

炭化水素エネルギー省及び ENDE の地熱開発に係る理解・認識を強化するため、すでに地熱開発を行っている中米諸国へのスタディーツアーを実施する。

その後、JICA により調達された供与機材の研修立会い場所が明らかになった時点で、さらに JICA 調達機材の設置に先立ち、ボリビア現地業者との間で技術的な内容を含む機材の設置等に細部の確認が追加的に必要となったことを受けて、ボリビア及び米国現地における追加の支援業務が生じることとなった。

また供与資機材の現地納期がさらに遅れたことからプロジェクト期間が、一度目は平成 25 年 8 月 30 日に、さらに再度平成 25 年 10 月 18 日までと延長されることとなった。

一方で、円借款本体の交換公文の締結交渉が長期化したことに伴い、特に円借款本体のプラント建設に関連する炭化水素エネルギー省及びボリビア電力公社のカンターパートが配置される段階に至らなかったことから、当初計画していた地熱開発事業における監理・監督能力の向上については、部分的な実施とならざるを得なかった。そのために、本事業に関わる既往調査の促進及び円借款本体のうち早期に実施される掘削コンポーネントに焦点を絞り、関連情報の収集支援、省庁及び実施機関の理解促進、能力強化を行うものとの変更が加えられた。

第6章 終了時評価

6.1 終了時評価実施状況

本プロジェクトに対する終了時評価が、平成 25 年(2013 年)5 月 16 日～5 月 28 日に実施された。終了時評価の調査団は、次のメンバーで構成された。本プロジェクト専門団は、調査に協力した。

表 6-1 終了時評価ミッション要員

氏 名	担当分野	組織ならびに職位
小野 高央	団長	JICA 中南米部 南米課 課長
丸山真司	団員	同上 職員
赤沢 直之	団員	同上 産業開発・公共政策部 計画・調整課 職員
望月 昭弘	評価分析	ICONOS 株式会社

6.2 終了時評価内容

APENDICE 1～7 に示した評価グリッドのとおり

以 上

添付資料

- **APENDICE 1:** 円借款附帯プロジェクトの達成状況（フェーズ0）
 - **APENDICE 2:** 円借款附帯プロジェクトの実施のプロセスの検証（フェーズ0）
 - **APENDICE 3:** 妥当性
 - **APENDICE 4:** 有効性
 - **APENDICE 5:** 効率性
 - **APENDICE 6:** インパクト
 - **APENDICE 7:** 持続性
-
- **A8:** 研修レポート：“TRACER FLOW TESTING” by Ms. Estefanía Olivia Tito Claros
 - **A9:** 現場写真

APENDICE 1: 円借款附帯プロジェクトの達成状況（フェーズ0）

評価設問	必要な情報およびデータ・情報（指標）	評価結果
全般的な目標に対する達成度		
ラグナ・コロラダ地域の地熱発電事業が円滑に実施される	1. 円借款本体事業が附帯プロジェクト終了後、ラグナ・コロラダ地熱発電所建設プロジェクトが直ちに開始される。 2. 本附帯プロジェクトの協力結果がラグナ・コロラダ地熱発電所建設プロジェクトに利用される	- 本円借款附帯プロジェクトを通じて、円借款本体事業である「ラグナ・コロラダ地熱発電所建設プロジェクト」の事前準備環境が整備された。 - 本プロジェクトにおける活動は、活動 3-2 以外は達成された。活動 3-2 は円借款本体事業である「ラグナ・コロラダ地熱発電所建設プロジェクト」において実施される見込みである。
プロジェクト目標達成度		
ラグナ・コロラダ地熱開発に必要な噴気試験、周辺環境データモニタリングに関する ENDE の実施能力が強化されるとともに、案件準備実施段階における炭化水素・エネルギー省のプロジェクト監理・監督能力が強化される。	1. 噴気試験レポートが作成される 2. 環境モニタリングレポートが作成される。	- 噴気試験レポートが作成され、ENDE 担当者はプロジェクト・サイトへの出張のたびにアップデートされている。なお、出張頻度は毎月となっている。 - 環境モニタリングレポートは作成され、プロジェクト・サイトへの出張するたびに更新されている。出張頻度は毎月である。 - 環境モニタリングレポートの提出は出張報告への添付が求められている。なお担当者は同レポートの作成方法に関する知識を習得した。
評価設問	必要な情報およびデータ（指標）	評価結果
成果の達成度		
1. ENDE の担当者の噴気試験監督能力が強化される。	1. 噴気試験マニュアルが作成される。	- 噴気試験に必要な機材は専門家により選定され、2012 年 10 月に完了した。 - 噴気試験に必要な機材が設置された。 - 噴気試験プロセスにおいて ENDE 担当者と日本人専門家とともに作業を行い、技術移転が的確に実施された。 2013 年 2 月に噴気試験マニュアル（ドラフト）が作成された。 - 当該マニュアルは 10 回ほど開催された研修において活用された。 .
2. ENDE の担当者の環境モニタリング監督技術が強化される。	2. 環境モニタリングマニュアルが作成される	- ボリビア国の環境法、規則に基づいた環境モニタリングマニュアルが、2011 年 12 月に完成した。 - 環境モニタリングマニュアルは地熱発電所建設予定地における調査をへて作成された。 - ENDE 担当者は環境モニタリングマニュアルを利用して坑井より噴出される硫化水素、その他の化学成分をモニタリングするようになった。
3. 地熱資源開発に関する炭化水素・エネルギー省及び ENDE の理解が促進される。	3. 地熱資源開発に関する知識が深まる。	- 炭化水素・エネルギー省と ENDE の地熱資源に関する知識が日本へのスタディーツアーならびに日本人専門家による指導により向上した。 - しかしながら、活動 3-2 は円借款契約が未調印のため充分にはなされなかった。
4. 地熱プラント建設の関する炭化水素・エネルギー省および ENDE の理解が促進される。	4. 地熱発電所建設に関する知識が深まる	- 炭化水素・エネルギー省と ENDE の地熱発電所建設に関する知識が日本へのスタディーツアー並びに日本専門家による指導により向上した。 - しかしながら活動 4-2 は円借款契約が未調印のため充分にはなされなかった。

APENDICE 2: 円借款附帯プロジェクトの実施のプロセスの検証（フェーズ0）

評価事項	必要なデータ・情報（指標）	成果
活動の実施	PDMに記されている活動の実施と計画	・ 終了時評価時点においてほとんどの活動が実施された。 ・ 以下の活動は十分な成果に至らなかったため、継続的な能力強化が求められる。 —活動 3-2" 掘削入札前に必要な文書作成のための準備作業の助勢 —活動 4-2" 発電所入札前に必要な文書作成のための準備作業の助勢
	追加の活動はあったか。あった場合、その理由は何か。	・ 特になし
日本人専門家とボリビア C/P の関係	日本人専門家とボリビア C/P の関係の関性は良好か。	・ 課題解決のための日常的かつ継続的なコミュニケーションと指導は日本人専門家と C/P の良好な関係の構築に寄与した。 ・ JICA と C/P の投入は円借款附帯プロジェクトの実施に重要な役割を果たした。
Phase0 における MHE と ENDE 間の役割分担	炭化水素・エネルギー省と ENDE との役割分担、指揮系統は明確か。	・ 炭化水素・エネルギー省は計画機関、ENDE は執行機関という役割分担は明確である。 ・ 炭化水素・エネルギー省は ENDE が作成した技術レポートの審査を担当する。
組織の質	炭化水素・エネルギー省と ENDE は円借款附帯プロジェクトの計画、実施に主体的に参加したか。	・ MHE と ENDE は非常に積極的にプロジェクトに参加していた。当初、MHE は Phase0 におけるカウンターパートではなかったが、地熱資源開発や発電所建設に関する知識を広げたいという要望からカウンターパートとなった。 ・ MHE の参加後、プロジェクト・デザイン・マトリックスの Phase0 における活動、結果と目的の項目が修正された。
	炭化水素・エネルギー省と ENDE は C/P としての的確な人物を配置したか。	地熱発電所建設の重要性に鑑み、双方の機関ともに経験その他において的確な人材を配置した。
	予算配布は計画どおり実施されたか。	・ Phase0 が始まった段階、特に 2011 年において、技術的な領域と ENDE の行政間に調整不足があり、適切な時期に支払いのない不手際がいくつかあった。このために、現地への派遣が適切な時期に行われなかった。 ・ Phase0 の 2 年目から、これらの調整が改善された。 ・ 予算は 3.38.705Bs（2012）から 7.6161.763Bs（2013 年）に増加した。
他ドナーとの協調	他ドナーとの協力関係はあるか。また、協力関係の重複はないか。	・ 合作も重複もなかった。 ・ ENDE によると、L/A と BID が調印された時、建設費はこのプロジェクトから生成されるエネルギーの送電システムにより賄われる。
阻害要因および貢献要因	本円借款附帯プロジェクト実施において阻害要因もしくは貢献要因はあるか。	・ ENDE は輸入手続きに関する十分な経験を有していなかったため、非常に時間を要した。

APENDICE 3 妥当性

妥当性：高い

評価事項	必要なデータ・情報 (指標)	評価結果
必要性		
円借款附帯プロジェクトのプロジェクト目標はターゲット・グループのニーズは一致しているか。	ラグナ・コロラダ地熱発電所建設はボリビアのニーズに合致しているか。	・ENDEによればエネルギー需要量は1,112MWに達するという予測がある一方2008年における最大可能供給電力量は946 MWにとどまっている。 ・プロジェクトの対象地域は、鉱業部門の活発な生産活動により電力需要が高まっているボリビア南西部である。 ・ボリビア政府はエネルギー・マトリックスの多様化のため地熱発電の拡大を電力政策に掲げている。
優先度		
上位目標とボリビアの開発政策との整合性	ラグラ・コロラダ地熱発電所建設はENDEとボリビア政府の開発計画およびENDEの政策と合致しているか。	・ ENDEの年次報告書”Memoria 2010”の中でラグラ・コロラダ地熱発電所建設計画が紹介されている。 ・ エネルギーの多様化として2012年に地熱発電が新しいエネルギーとして追加された。 ・ ボリビア政府計画によれば地熱発電が外部要因を受けない代替エネルギーとして認識されている。
プロジェクトと日本の援助政策、JICA国別事業実施計画との整合性	本円借款附帯プロジェクト開始後。日本の対ボリビア援助重点課題、JICA国別事業実施計画に変更はないか。	・ 終了時評価実施時点の 2013 年 6 月において、日本の対ボリビア援助重点課題、JICA 国別事業実施計画に変更は生じていない。
手段としての妥当性		
本円借款附帯プロジェクトのアプローチの妥当性	本円借款附帯プロジェクトに対して活かせるモデルはあるか。	・ 日本の地熱発電開発経験は本円借款附帯プロジェクトに活かされている。
当該分野における日本の協力としての優位性	日本が実施した類似プロジェクトの経験が活かされているか。	・ 日本は地熱発電所の設計・建設分野において高い競争力を有している。

APENDICE 4 有効性

有効性：やや高い

評価事項	必要なデータ・情報 (指標)	評価結果
成果達成度		
プロジェクト目標の適切性	プロジェクト目標の指標は妥当か	・ 噴気試験レポートと環境モニタリングレポートが作成されたことにより、プロジェクト目標は一定程度達成された。
因果関係		
プロジェクトのアウトプットによるプロジェクト目標の貢献	ENDEの噴気試験監督能力および環境モニタリング監督技術は強化されたか。	・ 噴気試験マニュアル（ドラフト版）を利用して 10 回におよぶ勉強会、OJT を通じて ENDE の能力が向上した。 ・ ENDE技術者がプロジェクト・サイトへ出張した際には噴気試験レポートを出張報告書に添付することが義務付けられた。 ・ 環境モニタリングマニュアルが作成され、現場トレーニングを実施したことによりENDEの環境モニタリング監督能力が向上した。 ・ ENDE技術者がプロジェクト・サイトへ出張した際には環境モニタリングレポートを出張報告書に添付することが義務付けられた。
	地熱発電所建設に関する炭化水素・エネルギー省と ENDE の理解は向上したか。	・ 日本へのスタディーツアーおよび日本人専門家の指導により地熱資源開発のリスクについて知見を深めることができた。 ・ 他方、円借款が未締結のため、掘削の入札に必要な文書の準備に関しては十分に進めることができなかった。 ・ ENDEは日本へのスタディーツアーと専門家の派遣により円借款本体事業の実施段階で必要となる地熱発電所建設にかかる知見を向上させることができた。また炭化水素・エネルギー省は専門家の派遣により地熱発電所建設にかかる知見が向上し、ENDEの活動を監督能力は向上した。 ・ 他方、地熱発電所建設に必要な文書の事前準備については円借款が未締結のため完了できなかった。
プロジェクト目標達成のための貢献要因、阻害要因	炭化水素・エネルギー省と ENDEの担当者は本円借款附帯プロジェクトに積極的に関与したか。	・ 双方の人員ともに Phase0 において、積極的に関与した。
	他の外部要因があったか。	・ 本円借款附帯プロジェクトの開始当初である 2011 年には、雇用契約の問題より離職、退職による人員の不安定さが問題となったが、2012 年なると改善しほぼ解決した。

APENDICE 5 効率性

効率性：中

評価設問		必要な情報およびデータ（指標）	評価結果
成果の達成度			
成果達成度		成果は計画どおり達成しているか。	・本円借款附帯プロジェクトは期待した成果を達成した。しかしながら、プロジェクト期間は当初予定されていたよりも17か月延長された。これは円借款が締結されないことによる機材調達の遅延が原因である。
投入、活動、成果の因果関係			
成果を産出のための活動の効率性	活動は地熱発電所建設のための準備作業に貢献したか。		・円借款締結の遅れと機材調達の遅延により生じた遅れにより活動は目的達成に向け部分的な貢献にとどまる。
	噴気試験の結果による収集した情報は的確であったか。		・現場における綿密かつ集中的な専門家の指導および機材、方法により長期噴気試験が実施され情報が収集された。
	環境モニタリングの結果収集した情報は的確であったか。		・環境モニタリングマニュアルはボリビアの法律および国際基準に準拠して制作された。 ・プロジェクトで作成したマニュアルを利用してENDE技術者にOJTを実施し、ENDE技術者がプロジェクト・サイトに出張した際には環境モニタリング評価を出張報告書に添付することが義務付けられるようになった。
投入のタイミング			
アウトプット達成のための達成度		投入の質と量は活動の実施に充分であったか。	・十分な人数の日本人専門家が的確なタイミングで派遣されたことにより、本円借款附帯プロジェクトの効率的な運営管理に貢献した。 ・質問票によるとボリビアC/Pは研修、OJTによる能力強化の内容に高い評価を与えている。
プロジェクトの実施プロセスの効率性に影響を与えている要因			
ローカル資源の有効活用		既存施設、人材などを有効に活用しているか。	・本円借款附帯プロジェクトでは既存インフラ、人材など使用可能な資源が全て利用された。
プロジェクトの効率性に影響を与えた促進要因、阻害要因は存在するか。		・本円借款附帯プロジェクトの実施期間は当初計画の15か月から32か月と大幅に延長することとなった。 ・プロジェクトの延長は以下の理由によるものである。 ①円借款本体事業の実施に向けた日本・ボリビア両国の円借款交渉が長期化し、プロジェクトの実施に必要な機材調達と活動が一時中断されたため。 ②地熱資源開発機材の特殊性に基づき調達に大幅な時間を要したため。但し、本円借款附帯プロジェクトの実施により円借款本体事業の実施に際し発生しうる技術的およびロジスティック上の問題を事前に確認することができた。	

APENDICE 6 インパクト

インパクト：高い

評価設問	必要な情報およびデータ（指標）	評価結果
上位目標達成の見込み		
上位目標の達成の可能性		・ 円借款の調印が実現すれば、本円借款附帯プロジェクトの上位目標の実現可能性も高くなる。 ・ 本円借款附帯プロジェクトの実施により機材の調達、輸送、設置に関するENDEの管理能力が向上した。
上位目標の実現に向けた阻害要因はあるか。		・ 円借款の未調印
波及効果		
波及効果の有無	本円借款附帯プロジェクトにおいて正の効果あるいは負の効果は生じたか。	・ 特になし。
他のインパクト		
政府のインパクトの有無	環境、貧困、ジェンダー、エスニック、社会経済といった観点からの正負のインパクトがあるか。	・ 特になし。

APENDICE 7 持続性

持続性：やや高い

評価設問	必要な情報およびデータ (指標)	評価結果
政策面		
協力終了後の政策支援継続の可能性	ラグナ・コロラダ地熱発電所建設プロジェクトは ENDE 内部において引続き優先事項であるか。	・ボリビア国家電力系統開発計画「“Plan Óptimo del Sistema Interconectado Nacional de Bolivia”」(2012-2022)によれば、ボリビア南西部地域における電力供給現状と供給見通しが記されており、当該地域への安定電力供給は優先事項とされている。 ・地熱発電はエネルギー資源として有力視されており、地熱資源開発の重要性が政策的に認められている。 ・ボリビアにおいてはエネルギー・マトリックスの観点より、エネルギーの多様化が求められている。 ・ENDE は円借款本体事業によるラグナ・コロラダ地熱発電所建設によりエネルギー需要に対応することを重要対策の1つに挙げている。
組織面		
協力終了後、活動継続に対する ENDE のコミットメント	ENDE は本円借款附帯プロジェクトで雇用した人員を円借款本体事業においても引続き雇用するか。	・現在、ENDE は急速な組織改革中にあり、雇用形態、期間をプロジェクトに影響がでないように考慮することで人材の安定化に貢献することが保障されている。
技術面		
協力終了後、活動継続に必要な ENDE の技術力	ENDE は本円借款附帯プロジェクトを終了後も噴気試験および環境モニタリングを実施するか。	・円借款本体事業実施にかかる ENDE の能力強化は一定程度達成された。他方、本円借款附帯プロジェクトの持続性を維持するためには、ENDE は円借款本体事業実施期間中においても引き続き活動を継続していく必要がある。 ・本円借款附帯プロジェクトによって作成された噴気試験マニュアル（ドラフト版）と環境モニタリングマニュアルを活用して、ENDE は月1回プロジェクト・サイトへ出張する技術者に対して噴気試験レポートと環境モニタリングレポートの作成を指示している。
財政面		
協力終了後、活動継続に必要な ENDE の財源	地熱発電所建設推進を維持するための予算は確保されているか。	・本円借款附帯プロジェクトの開始当時は、予算の執行率が非常に低かったことに加え、出金に伴う内部手続きの遅れから活動に支障をきたした。 ・また、人員の雇用の不安定が懸念された時期があったが、円借款締結の見通しが高まり、ENDE は予算を2012年の3,387,705 ボリビアーノから2013年には3,387,705 ボリビアーノへ増加した。 ・人員の雇用維持の重要性が認識され課題は解決されつつある。
その他		
持続性を阻害する要因はあるか。		・ボリビアと日本の円借款調印の遅れを除けば、阻害要因は存在しない。

[ESCRIBIR EL NOMBRE DE LA COMPAÑÍA]

JICA PREPARATORY
SURVEY FOR
GEOTHERMAL
POWER
DEVELOPMENT
SECTOR LOAN
[Escribir el subtítulo del documento]

[Año]

[ESCRIBIR LA DIRECCIÓN DE LA COMPAÑÍA]

TRACER FLOW TESTING

1. ANTECEDENTES

El Trace Flow Testing (TFT) es un sistema de medición químico, frecuentemente utilizado en la industria geotérmica, que permite llevar a cabo el monitoreo de la entalpía específica y el flujo másico de sistemas monofásicos y/o multifásicos, a través de la inyección y dilución de trazadores químicos específicos, dispuestos para cada fase del flujo. El sistema de medición proporciona la posibilidad de llevar a cabo una evaluación precisa tanto de la fase vapor como de la fase líquida en cualquier etapa del proceso de producción de energía geotérmica, incluyendo las fases de producción de pozo, generación en planta y reinyección: ello, sin perturbar ninguna de las condiciones de operación.

El método involucra la inyección flujo “arriba” de trazadores específicos en la línea de producción y la posterior recolección de un número específico de muestras a intervalos determinados de tiempo flujo “abajo” del punto de inyección (Figura 1), mientras esta tenga lugar. Para un sistema de flujo bifásico es necesaria la utilización de dos trazadores diferentes, compatibles con las fases correspondientes y la instalación de equipos de separación (Figura 2) e inyección (Figura 3) que no involucren mayores modificaciones en la disposición de la línea de producción.

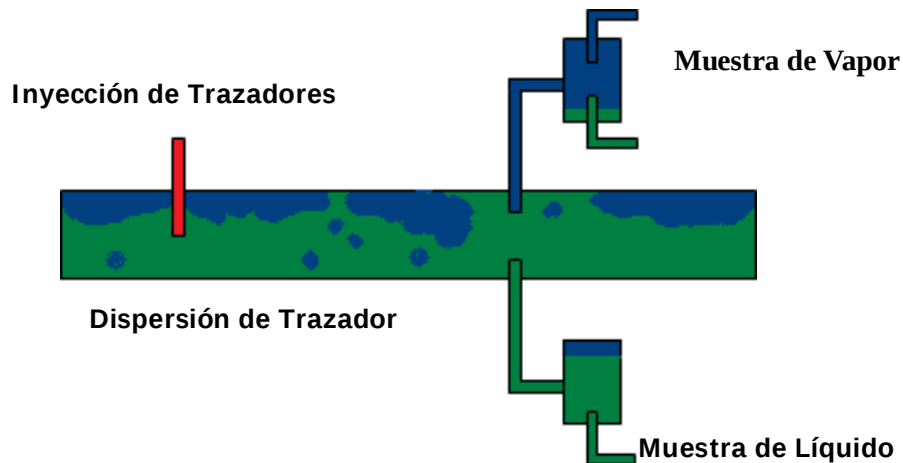


Figura 1: Esquema General de un Sistema TFT



Figura 2: Equipo de separación para toma de muestras.



Figura 3: Instalación de ballesta para inyección de trazadores.

La aplicación de un sistema de medición TFT debe, entre muchos aspectos, tener en cuenta la apropiada selección de los trazadores a utilizarse; para ello, los siguientes criterios deben ser considerados:

- El trazador de la fase líquida debe ser altamente soluble en agua.
- El trazador de la fase vapor debe tener elevada volatilidad.
- Los trazadores deben ser térmica y químicamente estables.
- Deberá haber técnicas de análisis disponibles para la determinación de sus concentraciones.
- El costo de los trazadores a ser inyectados deberá ser razonables, pues numerosas pruebas son requeridas para la obtención de datos fiables.
- Los trazadores a ser empleados deben ser no tóxicos.

EL uso del método TFT para la determinación de entalpía específica y flujo másico en los pozos del proyecto geotérmico laguna Colorada requirió una evaluación detallada por la empresa correspondiente (THERMOCHEM) para la selección de trazadores apropiados. Aquellos que cumplieron las condiciones técnicas de aplicación fueron:

- Sulfur Hexafluoride - SF_6 : Fase vapor.
- Thermo Trace: Fase líquida.

2. OBJETIVOS

En concordancia con los requerimientos de la Fase cero del Proyecto Geotérmico Laguna Colorada, os siguientes objetivos fueron propuestos:

- Determinar los valores de flujo másico de vapor y salmuera procedentes de la línea de producción.
- Determinar la entalpía específica del vapor y la salmuera generados durante la explotación del reservorio.

3. DESARROLLO

La aplicación del sistema de medición TFT en el Proyecto Geotérmico Laguna Colorada requirió de la ejecución de las siguientes tres etapas:

3.1 INYECCION DE TRAZADORES

La inyección de trazadores fue realizada utilizando un MicroMod System para ambientes extremos (Figura 4). La relación de flujo entre el trazador de la fase vapor y el trazador de la fase líquida fue de 5:1, por lo que el gas SF_6 fue inyectado a una velocidad volumétrica constante de 100ml/min, mientras el ThermoTrace fue inyectado a la línea de producción a flujo constante igual a 20 ml/min. La inyección de ambos trazadores se extendió por un periodo de 35 minutos.

Se pretende que el sistema de medición TFT se realice de manera frecuente durante todas las pruebas de producción con el fin de lograr la obtención de resultados adecuados para la realización de análisis comparativos.



Figura 4: MicroMod System para Ambientes ExtremoS

3.2 ANALISIS DE LA FASE VAPOR

El análisis de la concentración de SF_6 en la fase vapor fue realizado utilizando un equipo de cromatografía de gases acoplado a un detector de captura de electrones (Figura 5). Para ello, se elaboro una curva de calibración realizando la inyección de un gas estándar a diferentes presiones y graficando el área bajo la curva obtenida en función de estas. Posteriormente, se llevo a cabo la lectura de las muestras, el tamaño de Loop utilizado fue de 0.1ml, la temperatura y presión de inyección fueron de 250 °C y 20 PSI (aprox.) respectivamente.



Figura 5: Cromatografo de Gas Acoplado a DCE

3.3 ANALISIS DE LA FASE LIQUIDA

El análisis de las muestras de salmuera fue realizado utilizando un Fluorómetro Aqua Flow proporcionado por la empresa THERMOCHEM (Figura 6). De manera previa al análisis se preparo la una curva de calibración a partir de un “working standar” preparado utilizando la dilución original del ThermoTrace inyectado y una matriz de agua destilada-salmuera.

La lectura de las muestras se realizo llevando a cabo diluciones 1:2 para garantizar una obtención de datos más confiable. Las condicione de análisis fueron de temperatura y presión ambiente.



Figura 6: Fluorómetro Aqua Flow

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos por la aplicación del método de medición TFT en el pozo SM-1 de campo sol de Mañana, para un flujo regulado con una placa de orificio de 2plg se muestran a continuación.

Tamaño Loop (ml)	Presion de Loop (psia)	PPMv SF6 en Std.	Area	Moles SF6	Moles Pred.	% Diff
0,10	2,06	10,00	50,2546	5,938E-12	3,832E-12	-35,46%
0,10	5,22	10,00	160,5994	1,505E-11	1,654E-11	9,94%
0,10	10,18	10,00	286,3657	2,934E-11	3,103E-11	5,74%
0,10	15,50	10,00	412,2903	4,468E-11	4,553E-11	1,91%
0,10	20,07	10,00	502,506	5,785E-11	5,593E-11	-3,33%

Tabla 1: Datos de la curva de calibración para el análisis de SF₆

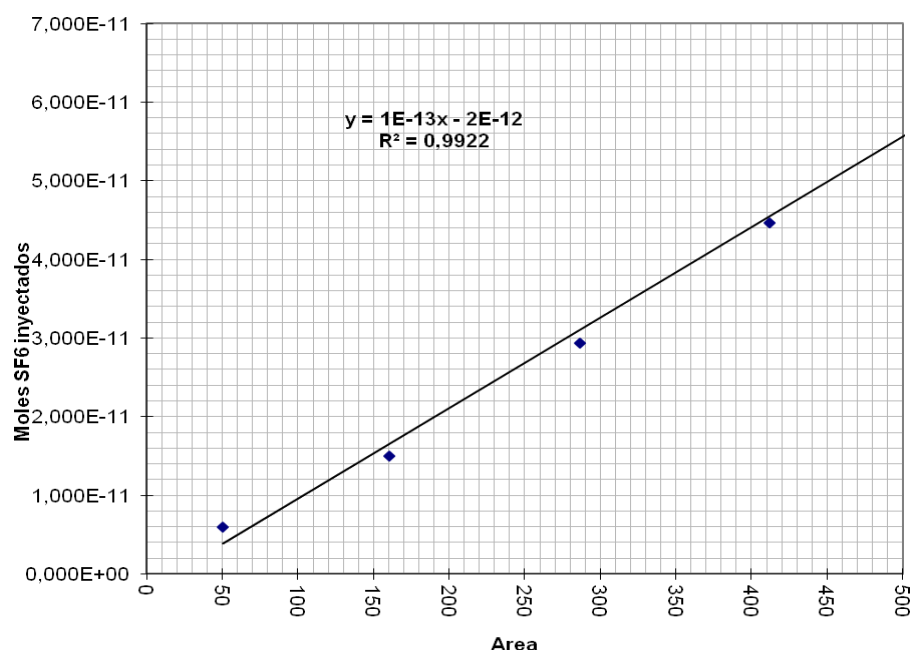


Figura 5: Curva de Calibración para Análisis de SF₆

Numero Lab.	Volumen Envase	Peso Inicial	Peso Antes de Vacio	Peso Recibido	Scrub	Dens. Muestra	LV	HS	Presion Inicial Envase	Presion de Inyeccion	Presion de Loop (psia)	Area	PPMw
BC997	581,20	370,30	437,4	580,20	64,53	1,01	207,20	374,00	21,96	22,82	22,28	762	4,399E-01
BC997	581,20	370,30	437,4	580,20	64,53	1,01	207,20	374,00	23,23	22,47	9,98	428	5,374E-01
BC981	591,57	375,10	437,6	590,10	59,93	1,01	212,30	379,27	22,77	23,76	10,03	346	4,276E-01
BC983	584,99	371,00	436,4	588,20	62,83	1,01	214,50	370,49	21,91	23,30	10,12	370	4,421E-01
C1205	576,70	373,80	440,2	605,20	63,83	1,01	228,69	348,01	23,32	22,45	10,00	367	3,691E-01
BC979	595,45	368,20	431,8	604,90	61,03	1,01	233,99	361,46	22,30	23,88	10,06	403	4,242E-01

Tabla2: Resumen de datos Análisis de Muestras de SF₆ Pozo SM-1 (PO 2plg.)

Tabla 3: Datos de la Curva de Calibración para el Análisis de TFT

Lectura	Conc. Estandar	Ppb Predecid.	% Diff
79,78	79,2	66,94	-15,50%
153,9	158,4	152,74	-3,60%
261,6	237,7	277,42	16,72%
283,6	316,9	302,88	-4,42%
376,6	396,1	410,54	3,64%
428,5	475,3	470,62	-0,99%
485,7	554,6	536,84	-3,20%
554,9	633,8	616,94	-2,66%
670,2	713,0	750,41	5,25%
686,2	792,2	768,93	-2,94%

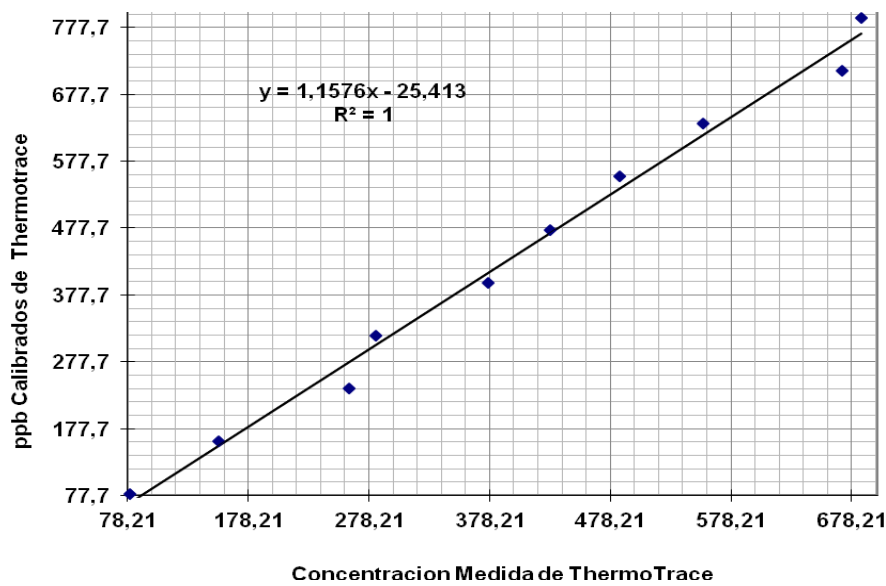


Figura 6: Curva de Calibración para el Análisis de TT

Tabla 4: Resumen de datos Análisis de Muestras de TT, Pozo SM-1 (PO 2plg.)

Numero de Muestra	Lectura (ppb)	Peso Inicial Envase (g)	Peso Final Envase (g)	Factor de Delusion	Concentración de la Muestra (ppb)	Concentración Final de Muestra (ppb)
124143	615,5	44,5	559,1	2,0	687,1	1374,2
124147	667,0	44,5	578,1	2,0	746,7	1493,4
124168	635,4	44,5	592,7	2,0	710,1	1420,3
124166	608,1	44,5	592,4	2,0	678,5	1357,1
124145	591,0	44,5	594,3	2,0	658,7	1317,5

Numero de Laboratorio	Intervalo de Muestra		Presion de Separador Barg	5 % Thermo Tracer Flujo de Inyección, g/min	Ppb Trazador en Salmuera	Flujo de Salmuera Tn/hr
124143	10:20	10:25	1.6	9,94	1406,5	21,17
124147	10:25	10:30	1.6	10,16	1553,6	19,60
124168	10:30	10:35	1.6	10,43	1463,3	21,36
124166	10:35	10:40	1.6	10,63	1419,3	22,45
124145	10:40	10:45	1.6	11,19	1378,8	24,33
Brine Flowrate Spread (T/hr)						4,72
Desviacion Estandar						1,75
% RSD						8,02%

Tabla 5: Resumen de Resultados TFT - Fase Vapor

Tabla 6: Resumen de Resultados TFT - Fase Liquida

Numero Lab.	Intervalo de Muestra		Presion Separador Barg.	5.00 % SF6 Flujo Iny, SCCM	PPM _w Trazador En Vapor	Flujo de Vapor T/hr
BC997	10:20	10:25	1.6	100,0	4,399E-01	4,4
BC981	10:25	10:30	1.6	100,0	4,276E-01	4,6
BC983	10:30	10:35	1.6	100,0	4,421E-01	4,4
C1205	10:35	10:40	1.6	100,0	3,691E-01	5,3
BC979	10:40	10:45	1.6	100,0	4,242E-01	4,6
Steam Flow Spread (T/hr)						0,87
Desviacion Estandar						0,36
% RSD						7,71%

Tabla 7: Resumen de Resultados TFT

Entalpia Promedio Kj/Kg	1199.2
Flujo Promedio Tn/hr	26.4
Temperatura °C	272.9
Fracción de Vapor a 1.6 Barg. (Promedio)	0.1764

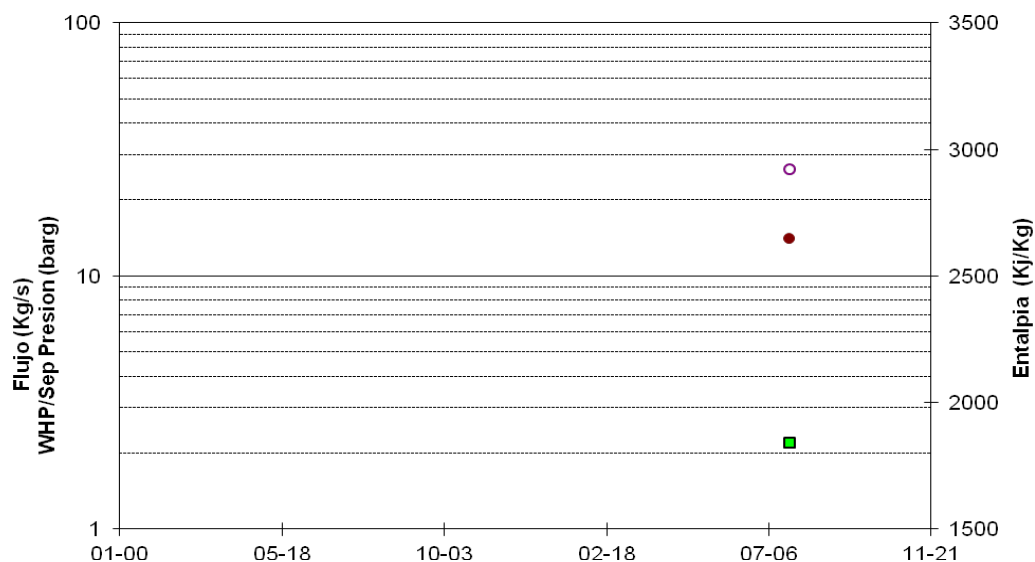


Figura 8: Resumen de Resultados TFT

■ Presión en separador de vapor ● Entalpia promedio ○ Flujo de masa total, promedio

5. CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos, es posible realizar las siguientes afirmaciones:

- Los valores obtenidos de flujo másico correspondientes a la porción de vapor (4.66 Tn/h promedio) son notablemente más bajos que aquellos predichos por otros métodos utilizados bajo las mismas condiciones de operación. Probablemente ello se debe a errores de cálculo introducidos durante el uso del software proporcionado por la empresa correspondiente (THERMOCHEM).
- Los valores obtenidos para el flujo másico de salmuera (21.78 Tn/h promedio) fueron similares a aquellos obtenidos con diferentes métodos de medición (Vortex 26.38 Tn/h). Sin embargo, puede atribuirse cualquier variación a la sensibilidad del equipo o a la posible interferencia por turbiedad ocasionada por la presencia de sales precipitadas en las muestras.
- El valor de la entalpia promedio obtenida (1199.2 KJ/Kg) es poco elevada respecto a aquella determinada por métodos diferentes al TFT (1085.7 KJ/Kg), ello puede deberse a la acumulación de errores menores en los cálculos realizados utilizando el software correspondiente.

6. RECOMENDACIONES

Considerando las condiciones bajo las cuales se aplicó el método y se realizaron las mediciones de las fases de vapor y líquido, es necesario recomendar lo siguiente:

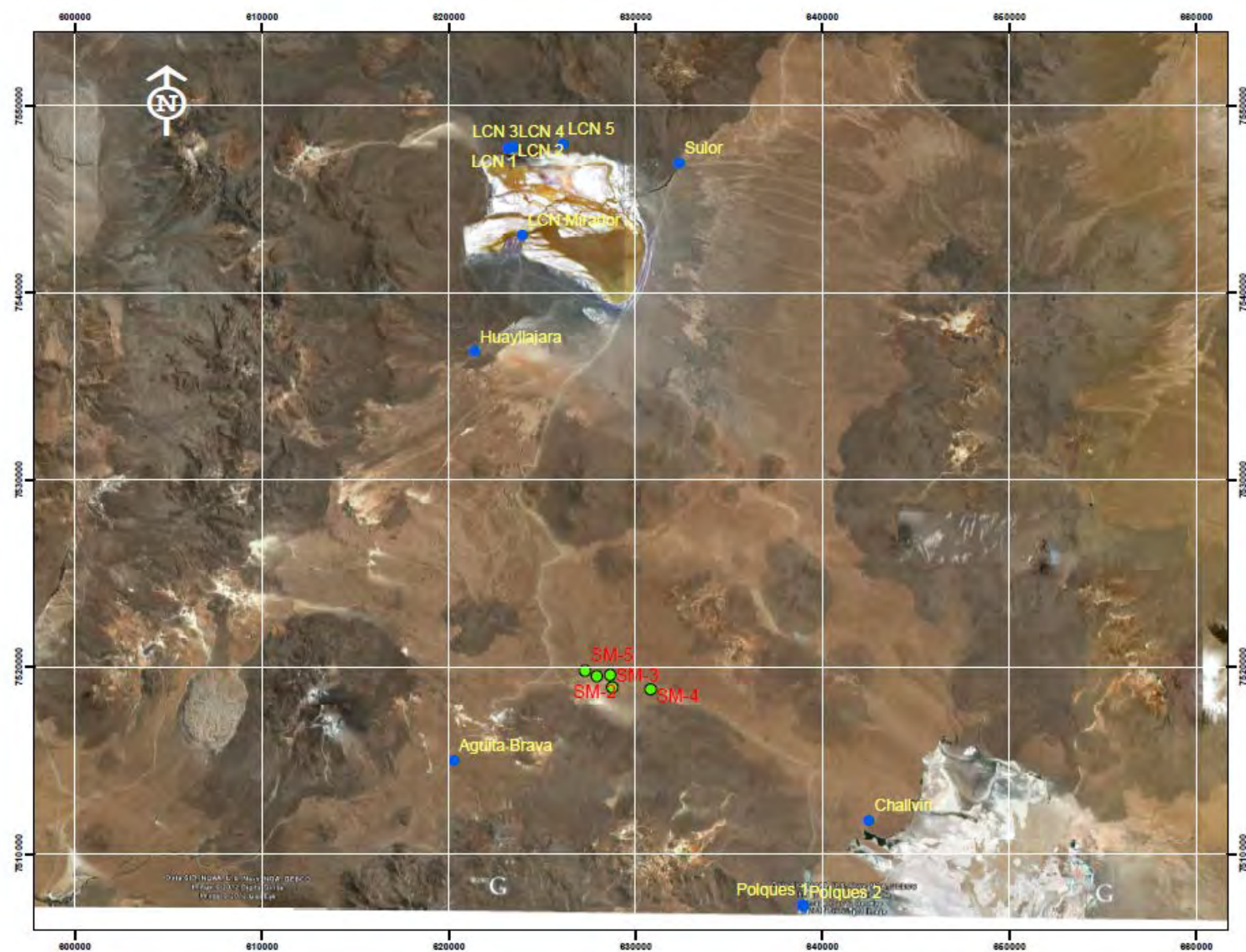
- Para evitar la presencia de posibles interferencias por turbiedad, debido a sales precipitadas, en el análisis de muestras de salmuera se debería aplicar un método de preservación de muestras apropiado, que incluya la adición, previa, de ácido nítrico a los frascos de muestreo o la filtración de estas previa al análisis.
- Con el fin de obtener datos comparativamente útiles, es preciso llevar a cabo la inyección de trazadores con mayor frecuencia durante las pruebas de producción de cada pozo.
- Es necesario coordinar una capacitación con la empresa THERMOCHEM con el fin de verificar la adecuada aplicación del método y garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos.

7. REVISION BIBLIOGRAFICA

- (1) Tracer Flow Testing Standard Operating Procedure, Rev. 1.1, THEROCHEM, 2012.
- (2) SF₆ Analysis Standard Operating Procedure, Rev. 1.1, THEROCHEM 2012.
- (3) Thermo Trace Analysis Standard Operating Procedure, Rev. 1.1, THEROCHEM, 2012

Estefanía Olivia Tito Claros
ING. QUIMICO JR.
EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD - ENDE

A9: ソル・デ・マニャナ周辺の航空写真及びサンプリングポイント



A9: 現場写真

1) 気象観測ステーション



気象観測ステーション

2)、第一次現地調査における SM-4 還元容量試験に関わる現場写真



発電機の運搬状況



水移送配管漏れ補修



貯水池水張り

貯水池サイホン配管



貯水池サイホン配管漏水処理



貯水池の造成完成時

2)、噴気試験に関わる現場写真



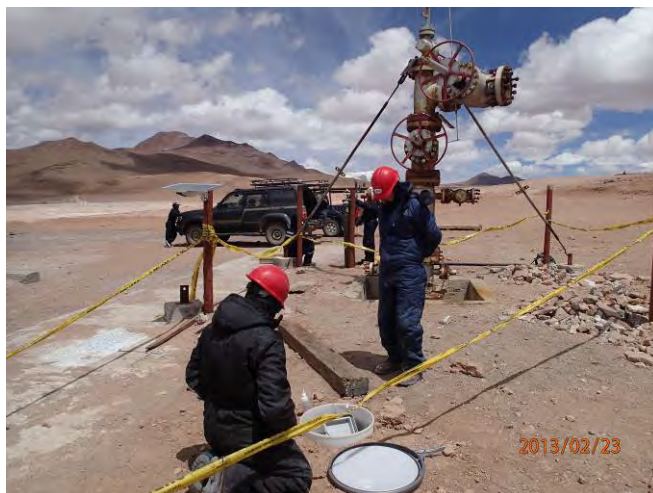
12 インチ HDPE 還元配管の敷設状況



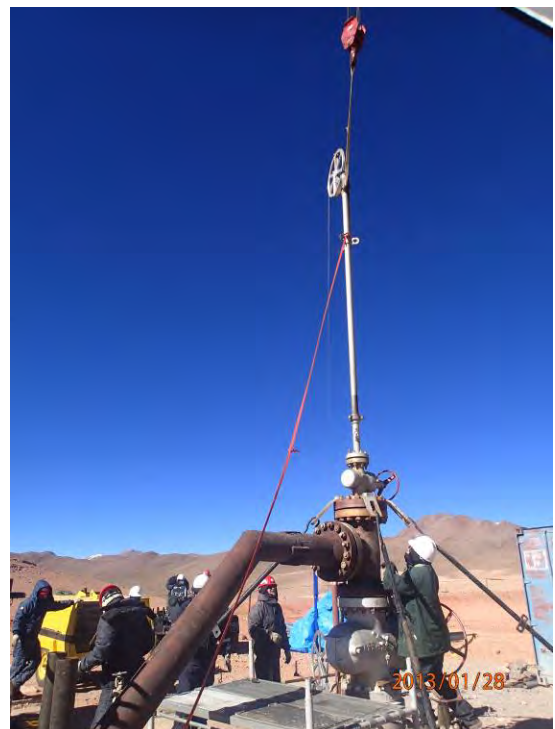
キャピラリーチューブ用ウィンチ



SM-3 におけるキャピラリーチューブの敷設



SM-1 のキャピラリーチューブ坑内圧力データの記録



SM-3 のキャピラリーチューブのリュース
リケータのリグアップ



PTS 検層の準備



SM-3 における PTS 検層のリグアップ



PTS 検層用のスリックラインウィンチの運用



SM-1 における PTS 検層のリグアップ



SM-3 のスタティック PTS 検層測定中



SM-4 における PTS 検層測定中



SM-4 の坑口配管の敷設作業中



SM-4 と仮設貯水池



SM-4 の坑口配管



SM-4 での作業待機



TFT の化学トレーサー注入機器



サンプル採取用のミニセパレータ



サンプル採取用のミニセパレータ



ミニセパレータで採取したガスサンプル



ガス(左)およびブライン(右)採取用冷却器



TFT トレーサーの注入作業状況



TFT 用ガスクロマトグラフ・高純度窒素ボンベ・真空ポンプ



ボルテックス熱水流量計のセンサーに付着したスケール



SM-1 噴気試験のフローライン設営状況



SM-1 噴気試験状況



流量コントロール用オリフィスの交換作業状況



SM-3 噴気試験状況



SM-3 噴気試験中の熱水堰の状況

SM-3 噴気試験中のサイレンサー周辺の状況



SM-3 噴気試験中



SM-5 横の貯水池の造成工事中



SM-1 の貯水池から SM-5 の貯水池への送水作業



SM-2 におけるラテラルバルブの敷設状況



SM-2 の坑口装置のスケール除去工事



SM-2 の坑口装置に析出したスケール



SM-2 の噴気試験装置(サイレンサー)の設営状況



SM-2 の噴気試験状況



SM-2 の噴気試験状況(SM-2 側の貯水池越しに撮影)



SM-2 の噴気試験中のガスサンプル採取状況



SM-2 の噴気試験における熱水堰の測定状況