

Добыча газа из нетрадиционных вулканических пород: пример разработки области Cupen Mahuida бассейна Neuquina в Аргентине. Gas production in non-conventional volcanic rocks: a case history of the Cupen Mahuida Field, Neuquina Basin, Argentina

Virginia Martínez Cal*

Бассейн Neuquina характеризуют как одну из наиболее богатых продуктивных площадей в Аргентине. Нефтеносные системы бассейна определяют многочисленные коллекторы и механизмы ловушек. Этот углеводородный бассейн считается изученным, так как проведена его разведка и разработка. Несмотря на это, его активность продолжает оставаться высокой, однако, некоторые проблемы еще имеют место. Принятые стратегии включают разработку глубокозалегающих и нетрадиционных коллекторов и применение новых технологий для увеличения добычи нефти и газа из уже существующих продуктивных областей.

Область Cupen Mahuida представляет собой сложное месторождение сухого газа, находящегося под высоким давлением. Область расположена в блоке Loma La Lata - Sierra Barrosa центральной части бассейна Neuquina приблизительно на 100 км западнее г. Неукен в Аргентине (рис. 1).

Блок Loma La Lata - Sierra Barrosa (рис. 2) состоит из двух основных областей: Loma La Lata и Aguada Toledo-Sierra Barrosa. Месторождение газа было открыто в 1937 г. аргентинской государственной нефтяной компанией (YPF) (скважина Nq.NG-1), и из неглубоких коллекторов все еще извлекают нефть, газ и конденсат. В 2000 г. в результате бурения и оценки скважины CuMx-1 (Cupen Mahuida), располагавшейся в

центральной и наивысшей точке одноименной структуры в толще Пресуио и более глубоких (вплоть до 3000-3600 м) вулканических породах обнаружили газ.

Структура Cupen Mahuida является частью морфоструктурной единицы Dorsal de Huincul. Ее характеризуют как протяженную систему разломов, образовавшую тектонические полуграбены. В такой обстановке осаждались пирокластические породы триасово-юрского возраста группы Пресуано. Позднеюрское поднятие и сжатие создали продуктивные антиклинали, включающие область на верхнем крыле взброса - Cupen Mahuida (рис. 3, 4). Газовая ловушка развивалась как совокупность структурных и стратиграфических

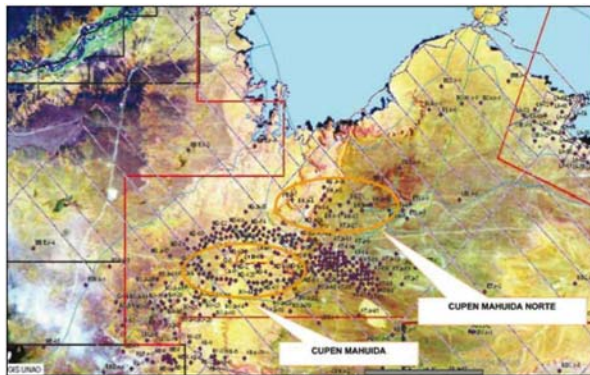


Рис. 2. Южная часть блока Loma La Lata - Sierra Barrosa.

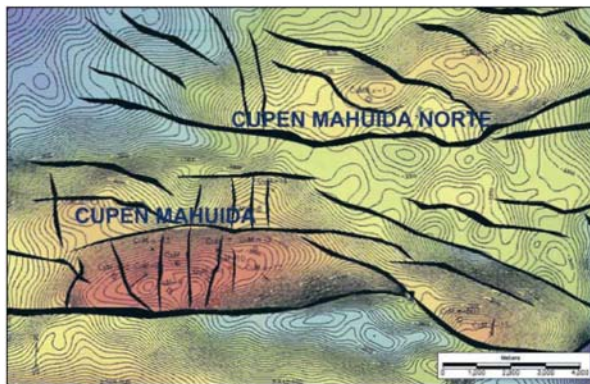


Рис. 3. Cupen Mahuida и Cupen Mahuida Norte. Структурная карта по кровле толщи Пресуио.

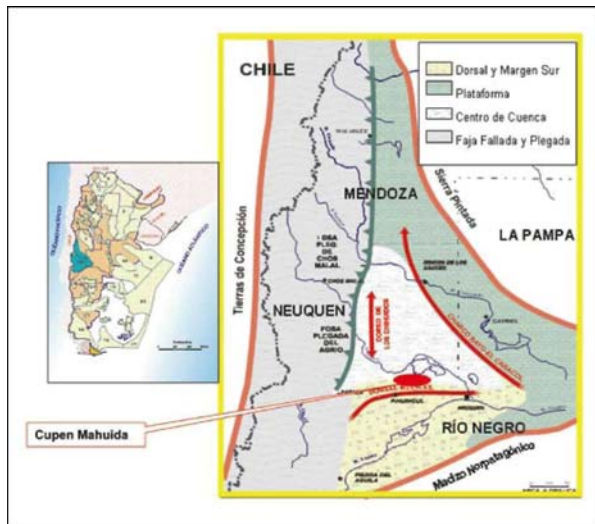


Рис. 1. Область Cupen Mahuida. Карта района работ.

* Repsol YPF, E-mail: vmartinezc@repsolypf.com.

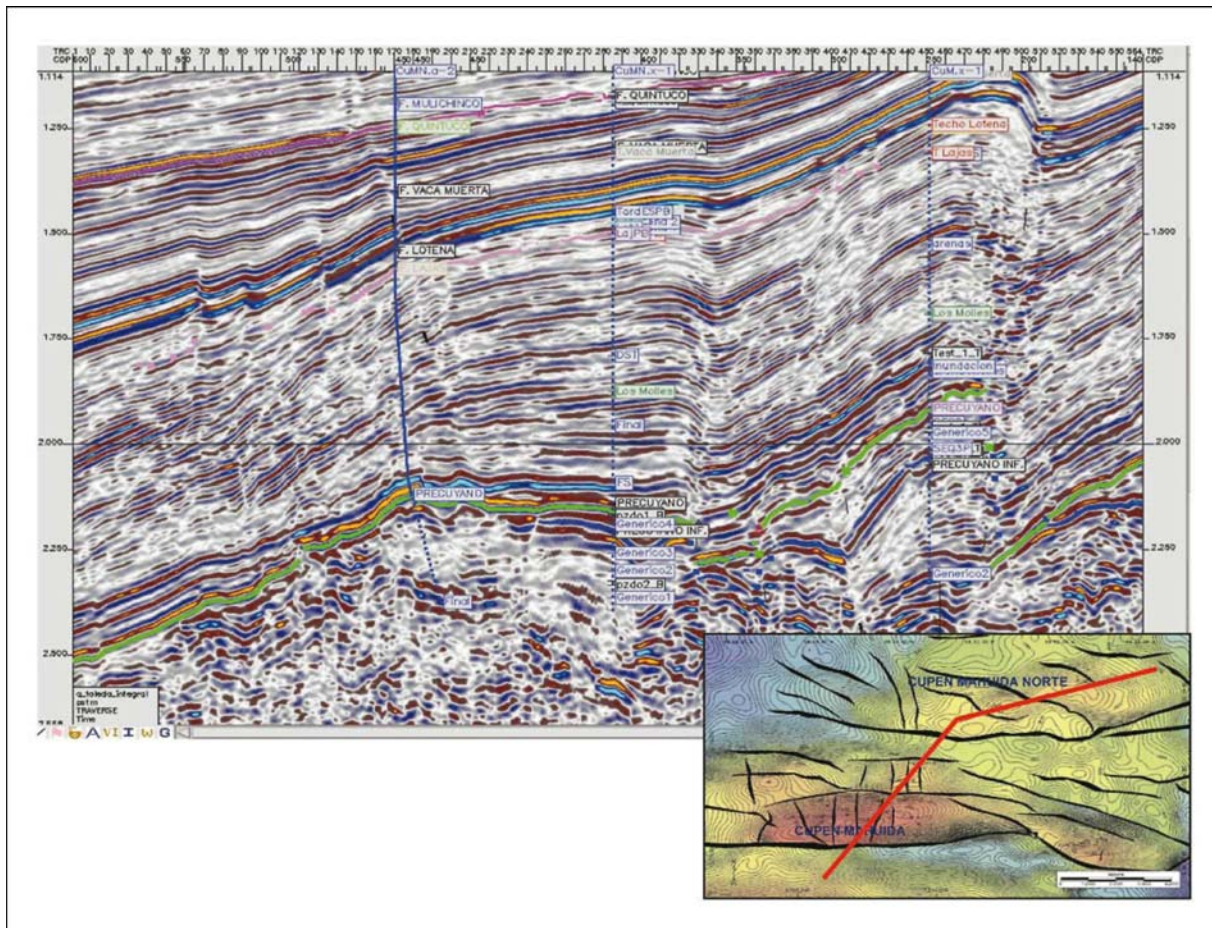


Рис. 4. Сейсморазведочный профиль (CB-Ю3), проложенный через структуры Cupen Mahuida Norte и Cupen Mahuida.

факторов при гетерогенном распределении проницаемых зон, являющихся главной особенностью области. История области Cupen Mahuida натолкнула на решение пробурить подобную по размерам структуру Cupen Mahuida Norte.

Структуры на всем протяжении содержат около 30.000 млн. куб. м газа, и скважины, пробуренные в настоящее время над месторождением, подтвердили скопление газа. Скважина CuM.x-1 до сих пор является одной из наиболее продуктивных эксплуатационных скважин, а вместе с 10 позднее пробуренными скважинами, совместная добыча увеличилась до 2 млн. куб. м в день.

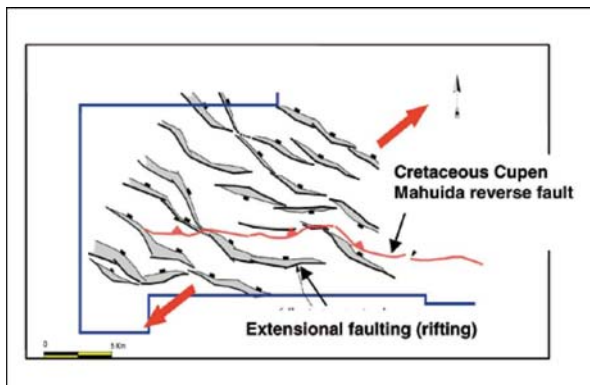


Рис. 5. Триасово-Юрские протяженные структуры Cupen Mahuida (зона крупных разломов). Нижнемеловые взбросы в зоне сжатия показаны красным цветом (иллюстрация взята из внутреннего отчета, составленного под руководством J. Silvestro, 2006).

Комплекс горных пород

В масштабе местности, сейсмическая интерпретация помогает определить простирание полуграбен с CCB на ЮЮЗ (рис. 5) и что бассейн Neuquina заполнялся позднемеловыми осадочными отложениями во время образования разломов. Области Cupen Mahuida и Cupen Mahuida Norte расположены в соседних антиклинальных структурах, направленных с востока на запад, протяженностью приблизительно 5600 га. Они возникли благодаря наклонной тектонической инверсии, образовавшейся под областью регионального напряжения (СЗ-ЮВ), связанного с позднемеловской – раннемеловой компрессионной системой (рис. 6). Эта стадия сжатия создала крупные взбросы субмеридионального простирания, которые ограничивали структуры с юга. Она началась сразу после образования разломов и из-за косого направления протяженных структур возобновила предыдущую деятельность разломов наклонной обращенной структуры.

Более позднее образование сбросов (субмеридиональное направление) повлияло почти на весь стратиграфический разрез. До сих пор изучаются глубинные разломы из-за их возможности создать изолированные коллекторы. Промысловые данные и данные, зарегистрированные приемниками давления, полученные в скважинах, являются ключевыми. Новые пробуренные скважины показали существование изолированных и выработанных блоков. Эта крупная система разломов считается важной, поскольку она управляет потоками флюидов и трещинообразованием внутри коллектора. Направление напряжения во времена юры и мела полностью совпадают с нынешним полем напряжений. Это четко видно из данных и по направлениям линий разломов из интерпретации данных каротажа.

В 1995 г. области Cupen Mahuida и Cupen Mahuida Norte были полностью разведаны 3D сейсмикой. Эти работы первоначально проектировались для неглубоких нефтегазоносных месторождений, но в 2004 г. после выполнения повторной временной миграции до суммирования, были обнаружены крупные разломы и 2 горизонта (верхний и нижний Пресуапо). Таким образом, эта процедура позволила определить более глубокие продуктивные горизонты. Чтобы описать сложный коллектор и отдельные залежи газа в 2005 г. был посчитан куб инверсии по данным миграции во времени до суммирования. Оказалось, что этот куб неэффективен для уточнения пластовых параметров: выдержанности по латерали или характера насыщенности. Аномалии низкого акустического импеданса могут относиться к газу, но все же, сейсморазведка не может обнаружить некоторые нефтегазоносные пласты из-за их относительно небольшой толщины (рис. 7). Таким образом, по свойствам или аномалиям нельзя создать фациальную карту.

Стратиграфия

В центральной части бассейна Neuquina весь стратиграфический разрез включает большое разнообразие единиц нефти и газа, нефтематеринской породы и пород-покрышек (рис. 8). Скважины в Cupen Mahuida с конечными глубинами до 4700 м пока не достигли нижней границы углеводородов. Ей соответствует пермь-триасовые вулканические породы, по которым первоначально открыли месторождение.

Первые отложения вулканических и вулканокластических пород относятся к Пресуапо. Сильные изменения толщины указывают на тектонический контроль процесса осаждения осадков, что четко прослеживается на севере (Cupen Mahuida Norte) и восточнее главной структуры Cupen Mahuida. Здесь, в верхнем Пресуапо, в пределах которого развиваются крупные продуктивные горизонты, толщина пластов мала по сравнению с тектоническими сдвигами. Максимальная величина толщи Пресуапо, измеренная в скважинах в Cupen Mahuida, составляет 750 м.

В конце седиментации трансгрессивный комплекс, богатый морскими органогенными сланцами формации Los Molles, перекрывает вулканические комплексы. Существенные объемы газа, заключенные в бассейне, были сформированы из этой материнской породы. Эти тектонические области максимального отложения осадков (рис. 9) были заполнены

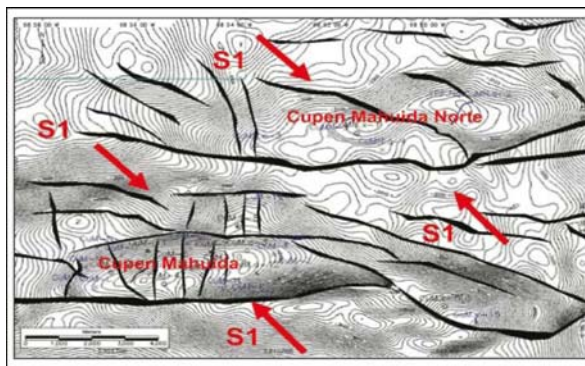


Рис. 6. Нижнемеловые структуры сжатия. Стрелками S1 обозначены региональные максимальные направления напряжения (с СЗ на ЮВ).

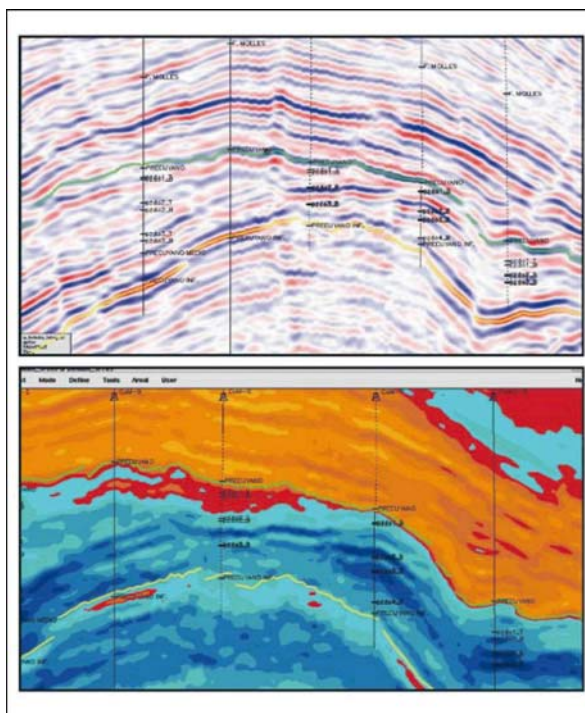


Рис. 7. Миграция во временной области до суммирования и кубы инверсии по сейсмическим данным (направление профиля ЮЗ-СВ). Отмечены скважины CuM.a-2, CuM-9, CuM-6, CuM-7 и CuM.a-8.

сложным комплексом кислых излившихся вулканических пород, преимущественно пирокластического происхождения: средне- и крупнозернистыми туфами и брекчиями (которые являются превосходными коллекторами), массивными мелко- и крупнозернистыми слоистыми туфами и, наконец, отложениями пеплопада. В этой области обнаружены небольшая доля обломочных отложений и лавовых потоков. Множество попыток было предпринято, чтобы определить характер отложений и распределение вулканических фаций. Даже имея высококачественные скважинные данные (керна; керн, отбираемый из стенок ствола скважин, каротажные диаграммы, новейшие каротажные диаграммы, точные петрофизические оценки, детальные петрофизические описания) сделать прогноз о месторождении, его свойствах и размерах все еще довольно затруднительно.

Коллектор

Область Суреп Mahuida представляет собой месторождение находящегося под высоким давлением сухого газа, образовавшегося в мелкотрещиноватых вулканических отложениях с высоким гетерогенным распределением пор и проницаемых зон благодаря сложному диагенетическому изменению. Эти осадки отложились в условиях более позднего тектонического трещинообразования. Для рентабельной добычи этих нетрадиционных коллекторов, представляющих собой

трещиноватые породы с низкой проницаемостью, требуется гидроразрыв.

Как было установлено раньше, основываясь на сейсмическом сигнале, толща Пресуано разделена на верхний и нижний Пресуано. Непрерывная сильная отражающая граница отвечает кровле нижнего Пресуано. А многие скважины, пересекающие эту толщу, отмечают литологические изменения от серых туфов к глинистым туфам красноватого оттенка.

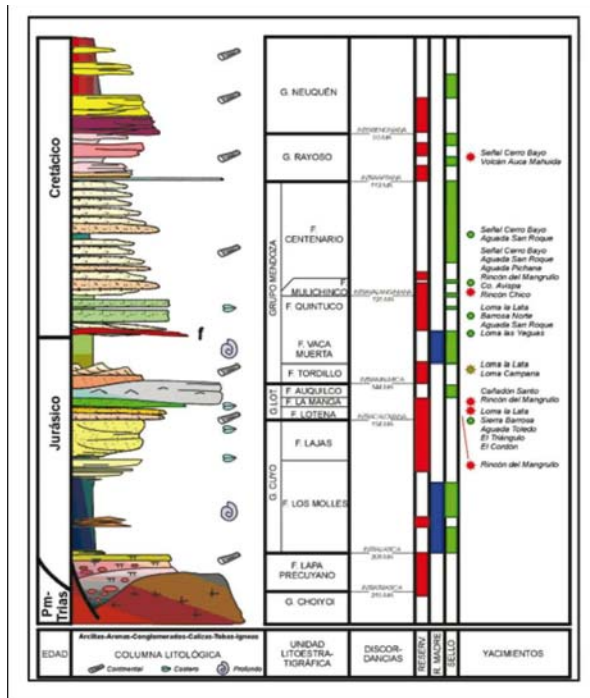


Рис. 8. Стратиграфическая колонка центральной части бассейна Neuquén.

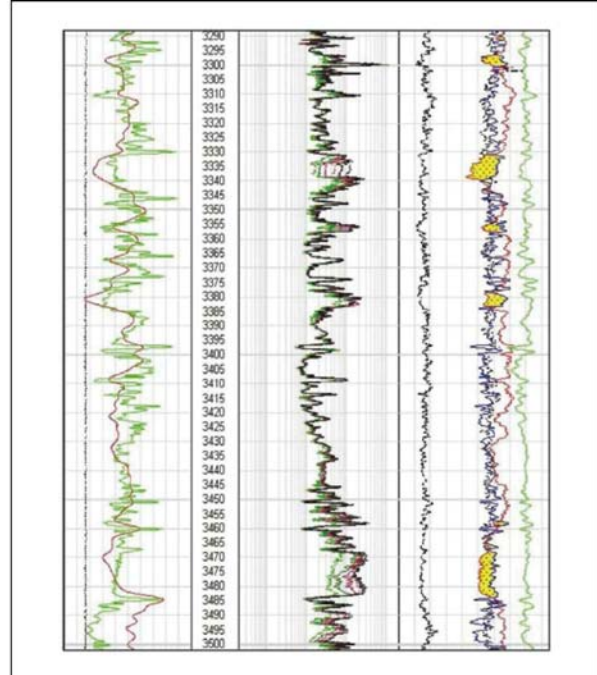


Рис. 9. Каротажная диаграмма для скважины CuM-7 (гамма-каротаж, ЕП, каротаж сопротивлений, фотоэлектрический эффект в ядерном каротаже, диаграмма пористости) с уровнями пористости, четко определяющимися по пересечениям нейтронного каротажа и плотностного гамма-гамма каротажа.

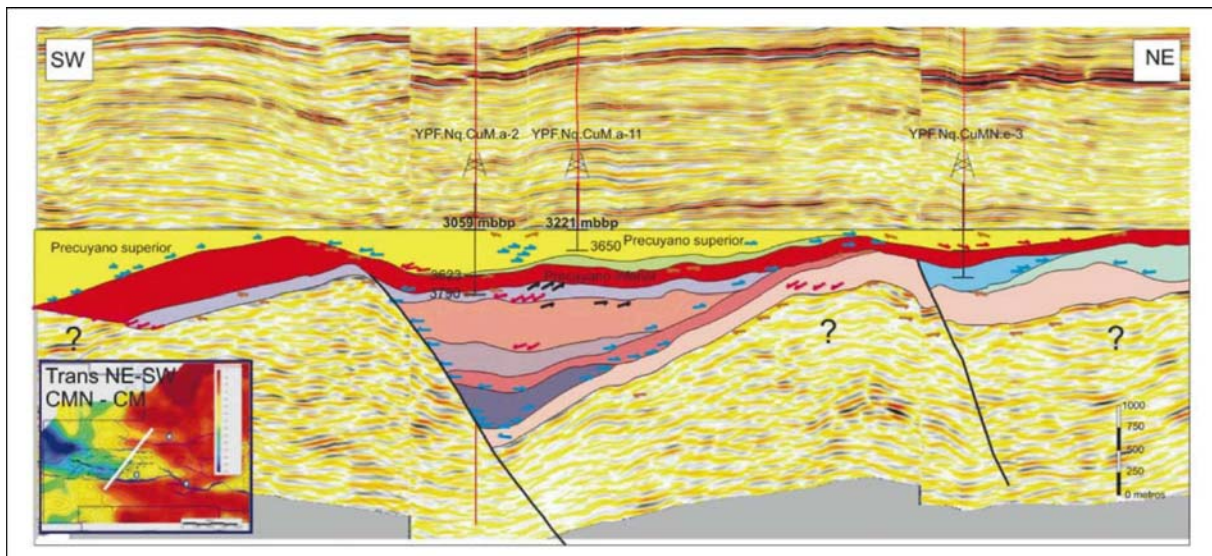


Рис. 10. Сейсмический профиль, простирающийся с ЮЗ на СВ. Выявление полуграбен и вулканических отложений Пресуано, которые первыми заполняют бассейн. (Иллюстрация взята из внутреннего отчета для проекта скважины CuMN.a-3, Е. Миссисси, 2006) (отмечены скважины CuM.a-2, CuM-11 и проектируемая скважина CuMN.a-3).

Газ в Плотных Породах

Верхний Prescuayo толщиной 300-350 м содержит почти все запасы газа месторождения в продуктивных пластах толщиной 5-40 м, распределенных в разных частях коллектора. В области Cupen Mahuida толща нижнего Prescuayo обычно представлена очень тонким обособленным проницаемым слоем, содержащим очень небольшие запасы газа. Но эту толщу нельзя не учитывать, поскольку она действительно обладает потенциалом в области Cupen Mahuida Norte.

Кривые гамма-каротажа и пересечения нейтронного каротажа и гамма-гамма плотностного каротажа (рис. 10) помогли определить взаимосвязь и отметки, которые трудно определить по сейсмическому сигналу и которые считаются предварительными. В трех прокоррелированных последовательностях: SEQ 1 - для верхней части, SEQ 2 - для середины и наиболее продуктивной части и SEQ 3 были идентифицированы проницаемые слои (рис. 11). Но эти слои не обнаружены ни в одной из соседних скважин. Предполагается отсутствие стратиграфической непрерывности и наличие боковых границ у проницаемых зон.

Вулканические фации

Для получения информации о фациях осадконакопления и петрографических характеристиках изучался имеющийся керн; керн, отбираемый из стенок ствола скважины, и данные. Интерпретация данных каротажа помогла с определением фаций. Объектами разведки являются два различных типа вулканических пород: массивные пирокластические потоки

и стратифицированные пирокластические потоки. Массивные пирокластические потоки (с массивной или крапчатой структурой) - наиболее нефтегазоносные слои (рис. 12, 13) и могут быть связаны с несспекшимися туфами. Они должны показать направленное распределение по площади, но прямых свидетельств этого у нас еще нет. Грубозернистые туфы и брекчии (каждый слой толщиной 25 м) обладают пористостью 12-16% и представляют первичную проницаемость породы. Кристаллокластиты (плаггиоклазы, калиевые полевые шпаты, кварц) и литокластиты, полученные из вулканических пород с мелкозернистой матрицей, дают крапчатую или порфиритовую структуры (рис. 14, 15). Брекчии характеризуют в качестве вулканических отложений гидравлически раздробленных диагенетическим внедрением гидротермальных флюидов. Они также имеют грубую крапчатую структуру.

С другой стороны, более однородная мелкозернистая порода (рис. 16) обладает массивной структурой. Имея низкие значения связанной пористости, эта структура может представлять спекшиеся пирокластические потоки: плотная, но все еще теплая порода. Проницаемость будет выше благодаря развитию микротрещин. Стратифицированные пирокластические потоки - достаточно плохие коллекторы из-за уменьшения величины отдельных пор. Естественная трещиноватость действительно образует связность пласта. Слоистость возникла благодаря быстрым последовательным извержениям.

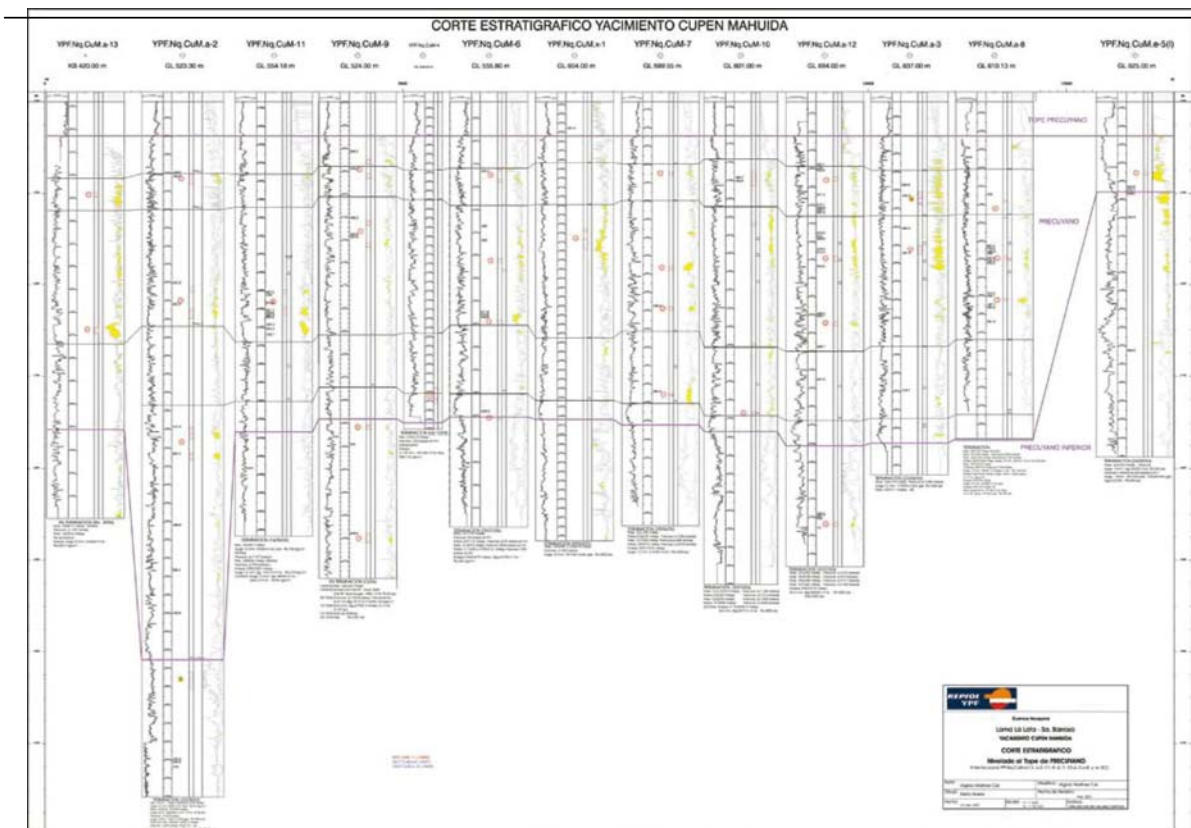


Рис. 11. Стратиграфический разрез с запада на восток по Cupen Mahuida (для всех скважин). Желтым цветом обозначены пересечения нейтронного каротажа и плотностного гамма-гамма каротажа.

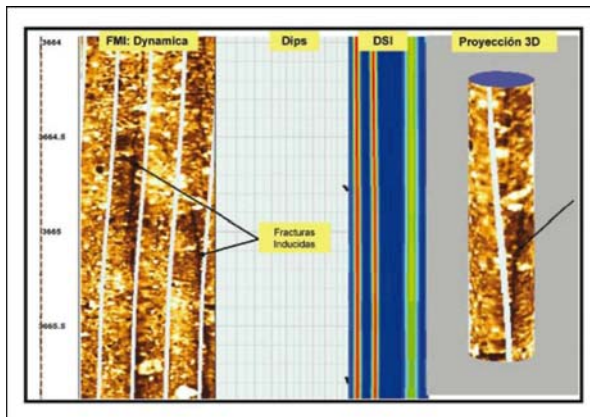


Рис. 12. Изображение разреза скважины. Материал пирокластических потоков. Крапчатая структура.

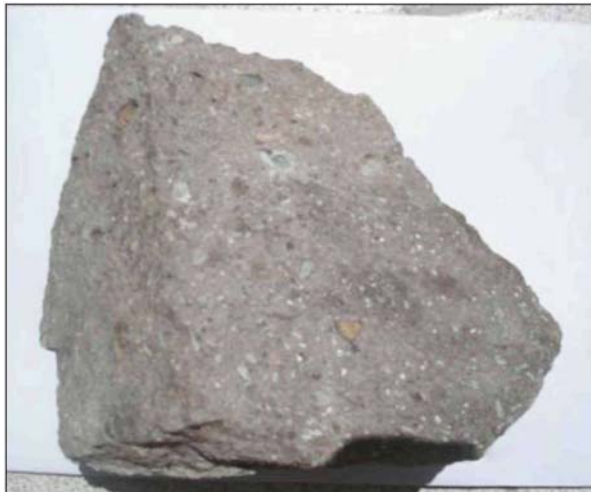


Рис. 13. Материал пирокластических потоков. Крапчатая структура.

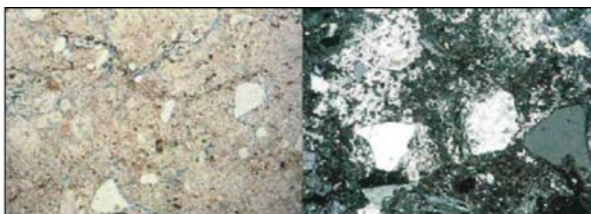


Рис. 14. Средне- и крупнозернистые туфы. 35% матрицы породы состоит из вулканического пепла, 25% из фрагментов стекла, видоизменившихся в цеолиты, появляющееся растрескивание, 30% - кристаллокласты, трещинная пористость.

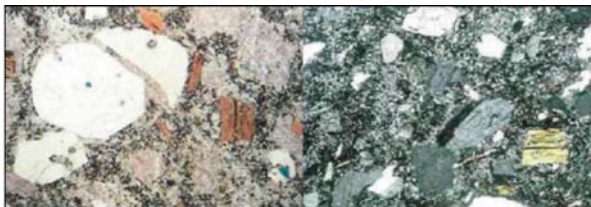


Рис. 15. Крупнозернистые туфы. 46% - кристаллокласты, а остальное - сильно растрескавшая матрица. Матрицу породы составляют цеолиты с измененными зернами. Интеркластическая и структурная пористости.

Фации, не обладающие коллекторскими свойствами, представлены тонкозернистыми переслоенными отложениями пеплопада и спекшихся пирокластических потоков (рис. 17, 18). Они обнаружены на всем протяжении интервала бурения, соответствуя более 80% всей вулканической толщи. Эти породы обладают тонкозернистой структурой и низкими значениями пористости и проницаемости (0.001 миллидарси) при отсутствии естественных трещин (рис. 19). Стратиграфический анализ вертикальных фаций указывает, что фрагменты хорошо стратифицированных пирокластических потоков возрастают от подошвы к кровле. Это объясняется постепенным снижением энергии вулкана со временем.

Пористость и проницаемость

Формирование пористой структуры и проницаемости в вулканических коллекторах – это непрерывный процесс, который начинается с замещением породы и последующим охлаждением. Образование пор в таком типе пород влияет на образование пузырьков или на выделении дисперсной газовой фазы, в результате чего происходит охлаждение микротрещин. Благодаря растворению при гидротермальных изменениях могут образоваться пустоты, вытесняя первичные минералы или, наоборот, закрывая существующие поры другими минералами. При более высоком давлении флюиды формируют гидравлические микробрекции. Эффект растрескивания и, особенно, геохимические исследования области Cиреп Махуйда подтвердили вытеснение минералов под действием морской воды. Это было определено по вышележащим морским сланцам формации Los Molles, достигающих глубин не больше 300 м.

Связанность пор в основном увеличивается в слоях со щелевидной пористостью. Распределение пористости выявляет гетерогенное распределение. В случае изменений минерального состава или под воздействием тектонической деятельности, пористость считается вторичной. И скелет породы, и изменение частиц или трещинообразование – выборочные явления, и только у некоторых пород увеличивается пористость и проницаемость. Значения достигают величин 12-17% и 0.01-0.3 миллидарси, соответственно (максимальные значения в области). Продуктивные пласты обладают средней пористостью 8% (рис. 20). Максимальные значения пористости (10-16%) имеют крапчатые пирокластические потоки.

Естественная трещиноватость

Плотность открытой трещиноватости обычно выше в массивных потоках и стратифицированных пирокластических потоках, но все же, она не больше 1-4 трещин на метр (рис. 21). Открытые или частично открытые тектонические трещины, проинтерпретированные в большинстве скважин по диаграммам каротажа, доказали общую субвертикальную и СЗ-ЮВ ориентации. Таким образом, подтверждая модель регионального напряжения (рис. 22). Специалисты по структурной геологии компании Repsol YPF рассчитали модель трещин для области Cиреп Махуйда. Поскольку разведочная скважина CuM-9 была первой наклонной скважиной в области, то основные результаты касались именно ее (рис. 23). Главная цель состояла в том, чтобы пересечь максимальное количество разломов. Было выделено трехкратное возрастание частоты вертикальных и субвертикальных трещин (рис. 24-25). Сейчас скважина вырабатывает значительное количество газа (260,000 куб. м/д), несмотря на то, что определение эффективной толщины не так интересно, как кажется.

Газ в Плотных Породах

Нефтеносная система

Газ, сформированный в морских сланцах формации Los Molles, образовывался и вытеснялся одновременно. В то время (150-100 млн. лет назад) структура была уже образована, а в качестве путей для миграции служили протяженные трещины.

Оценка параметров продуктивного пласта

Вулканические бассейны группы Ресцуапо обладают очень сложными петрофизическими характеристиками. Анализируя данные керны; керны, полученного из стенок ствола скважины, бурения и гидравлических испытаний были получены значения эффективной мощности пластов. Диагональные штреки для определения минерализованных слоев не использовались. Чтобы определить мощность продуктивных пластов коллектора (рис. 26) использовались пересечения из диаграмм плотностного каротажа с проницаемыми формациями и свободным флюидом из диаграмм ядерно-магнитного каротажа; коэффициента Пуассона, кривых удельного сопротивления (внедрение флюида?), данных предварительного теста RFT, описания фаций и трещин из диаграмм каротажа. Эффективная пористость, оцененная по диаграмме ядерно-магнитного каротажа, показывает хорошую корреляцию с пористостью из керна.

Разработка месторождения

Область Cupen Mahuida находится в стадии оценки, поэтому точные данные о добыче не доступны на данной стадии.

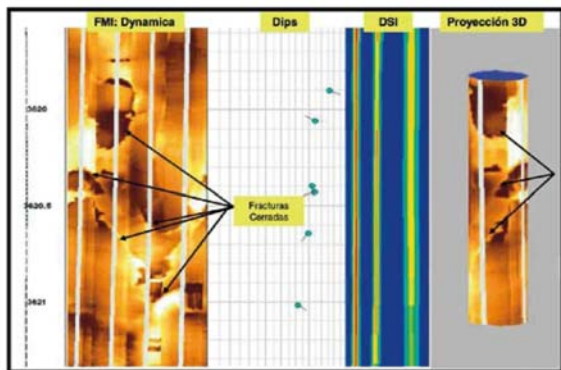


Рис. 16. Пирокластический поток. Массивная структура с закрытыми трещинами.

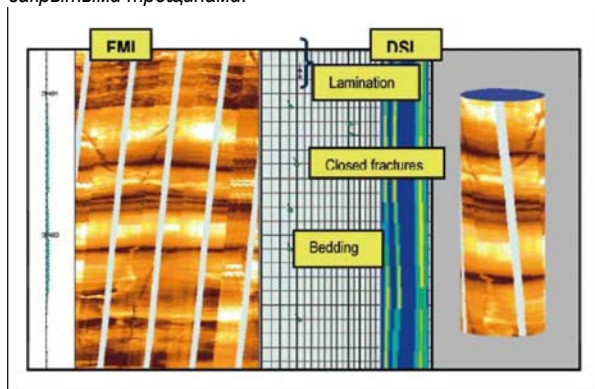


Рис. 17. Стратифицированные пирокластические потоки.

Большинство скважин сложных коллекторов извлекают сухой газ (97% метан). Скважина CuM.a-8 была первой пробуренной скважиной в смежном структурном блоке, отделенном от главного месторождения обратным разломом. Конечная станция трубопровода из основных перфораций дала оценку в 130,000 куб. м газа в день и 9 куб. м воды в день (38г/л хлорида). Эта предварительная оценка газовой контакта использовалась для дальнейшего подсчета запасов газа.

Области Cupen Mahuida и Cupen Mahuida Norte начали разрабатываться в 2001 г., и здесь до сих пор осуществляются значительные буровые работы (рис. 27). К 2007 году ежедневное увеличение добычи газа десятью скважинами, имеющими дебит 40,000-400,000 куб. м в день, составило 2 млн. куб. м. Одинаковые скважины, извлекающие нефть из различных трещиноватых слоев, имеют различный дебит. Производственная мощность любой пробуренной в области скважины главным образом связана с пористостью и проницаемостью породы, а также с ориентацией трещин при бурении или интенсификации разрыва пласта трещин. Трудно определить, от чего в первую очередь зависит дебит скважины или запасы месторождения – от трещин или матрицы породы.



Рис. 18. Стратифицированный пирокластический поток (отложения пеплопада).

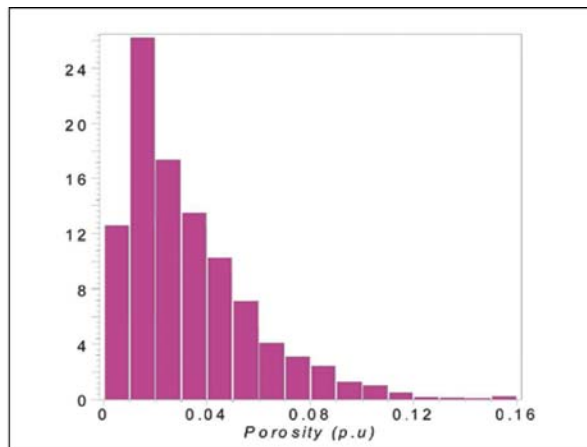


Рис. 19. Распределение пористости для стратифицированных пирокластических потоков.

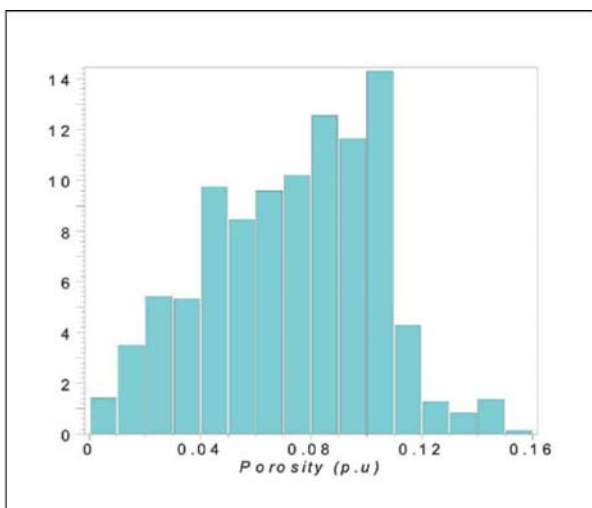


Рис. 20. Распределение пористости для фаций (кряпчатая структура).

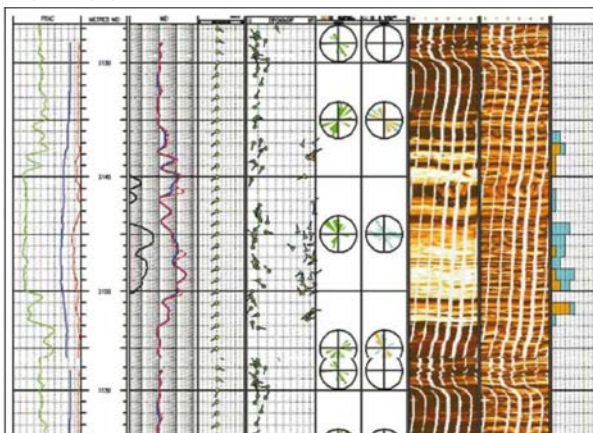


Рис. 21. Анализ сопротивлений. Концентрация открытых трещин показана оранжевым цветом.

Большинство из доступных измерений давления RFT имело сомнительную надежность из-за недостаточного времени стабилизации вследствие низкой проницаемости коллектора. Уверенно были определены данные первоначального пластового давления, составляющие 495 кг/кв. см для области Cupen Mahuida (на 3000 mbbp) и 563 кг/кв. см для области Cupen Mahuida Norte (на 3600 mbbp). Области являются газовыми месторождениями при очень высоком давлении, обладающими градиентами 0.141 кг/куб. см/м и 0.152 кг/куб. см/м, соответственно.

Данные давления указывают на сильно переменные дренажные бассейны, предполагающие различную связность, как результат низкой проницаемости и изолированности трещинами или стратиграфической непрерывностью. Скважина CuM-7 зафиксировала снижение давления, связанное с добычей скважиной CuM.x-1 газа из тех же самых интервалов в трещиноватых частях. С другой стороны, скважина CuM-10 обнаружила изолированный блок, ограниченный сбросами, что доказывает первоначальное пластовое давление. На рис. 28 представлен график давления от времени, по которому можно определить истощенные области или блоки месторождения. Динамическая характеристика подтвердила присутствие естественных сбросов.

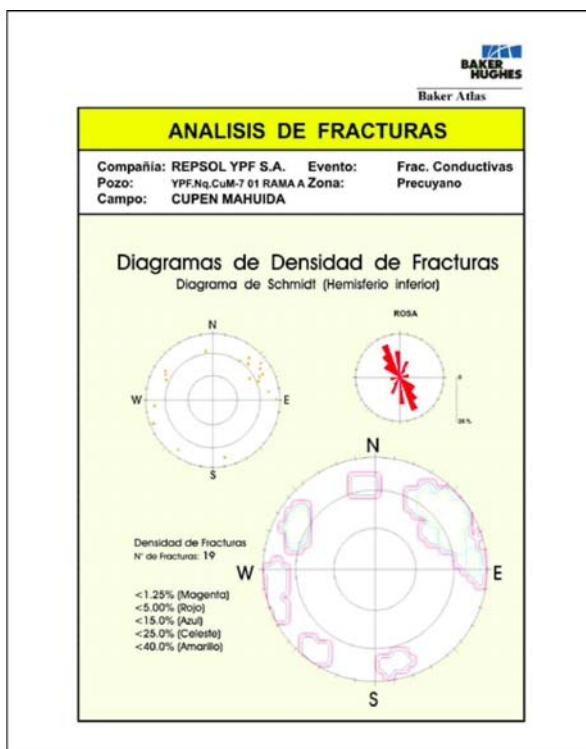


Рис. 22. Анализ трещиноватости из данных каротажа. Диаграмма концентраций трещин и простираия.

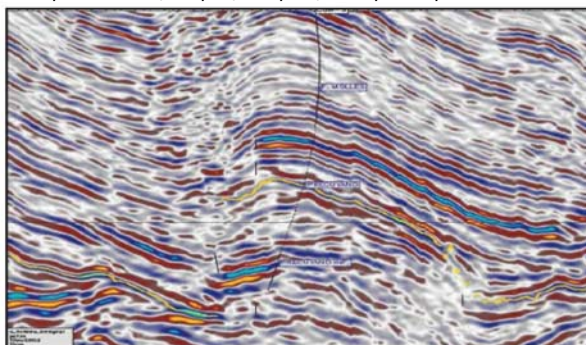


Рис. 23. Наклонная скважина CuM-9 (45°-35°, ЮЗ траектория).

Испытания скважины CuM.x-1 (рис. 29), скорректированные для двойной модели пористости, анизотропии проницаемости, вызванной низко проницаемой матрицей (0.037 миллидарси), и природной системы трещиноватости также показывают эффект гидравлического разрыва.

Скважины в Cupen Mahuida показывают схожие характеристики, несмотря на сильные изменения в дебите и давлении, обнаруженные на первоначальных стадиях. Была оценена скважина, соответствующая добыче всех скважин на начальных стадиях и воспроизводящая добычу и перепад давления, вызванный низкой проницаемостью коллектора, низкой проницаемостью матрицы породы и низким заполнением емкостей естественных трещин и трещин гидроразрыва (рис. 30). Для скважин CuM.x-1, CuM.a-3 и CuM-4, имеющих более длинную историю,

Газ в Плотных Породах

демонстрируется кривая падения добычи по гиперболе, связанная со свойствами коллектора плотных пород. На графике, приведенном в двойном логарифмическом масштабе, добычи от времени (рис. 31) показано поведение билинейного потока в течение первого года (приблизительно 300 дней). Оно объясняется совокупностью гидроразрыва и естественной трещиноватостью. После этого периода

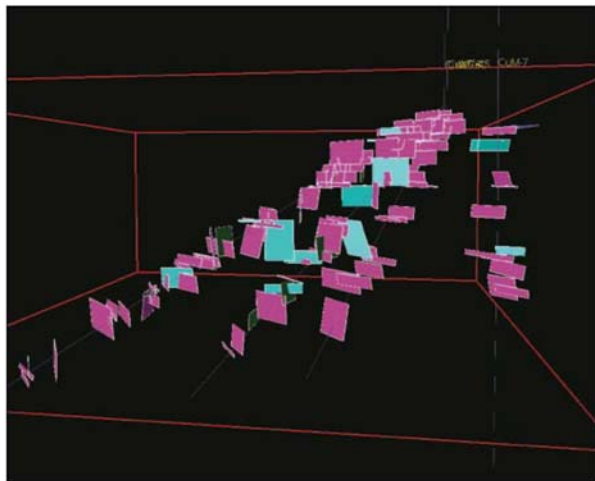


Рис. 24. Модель трещин для области Ciper Mahuida. Сравнение плотности расположения трещин в наклонной (30°, 45° и 60°) и вертикальной скважинах (Иллюстрация взята из внутреннего отчета, составленного под руководством J. Silvestro, 2006).

псевдостабильный поток указывает на наличие ограниченной дренажной зоны. Окончательное значение коэффициента извлечения углеводородов равняется 67%, оно было спрогнозировано благодаря оценке кривой производительности, не принимая во внимание экономический предел эксплуатации.

Другая проблема, которую следует рассмотреть - это то, что для этих месторождений газа маловероятна стратиграфическая целостность, следовательно, при определенной расстановке скважин есть риск не попасть в нефтегазовые линзы. В среднем, текущий интервал расстановки составляет 400-450 м, что в значительной степени основано на первоначальном методе восстановления давления для скважины CuM.x-1. Динамическое моделирование пласта-коллектора и оптимизация размещения скважин станет возможной с течением времени.

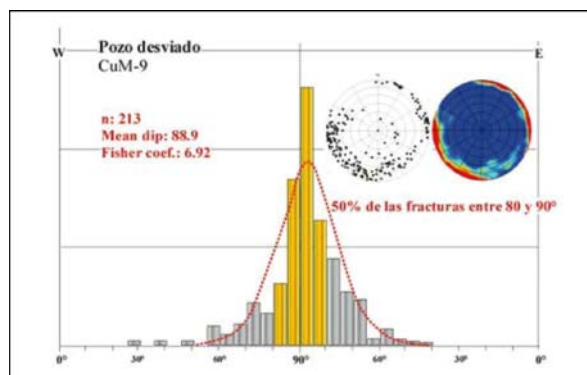


Рис. 25. Распределение открытых трещин субвертикального направления (по скважине CuM-9).

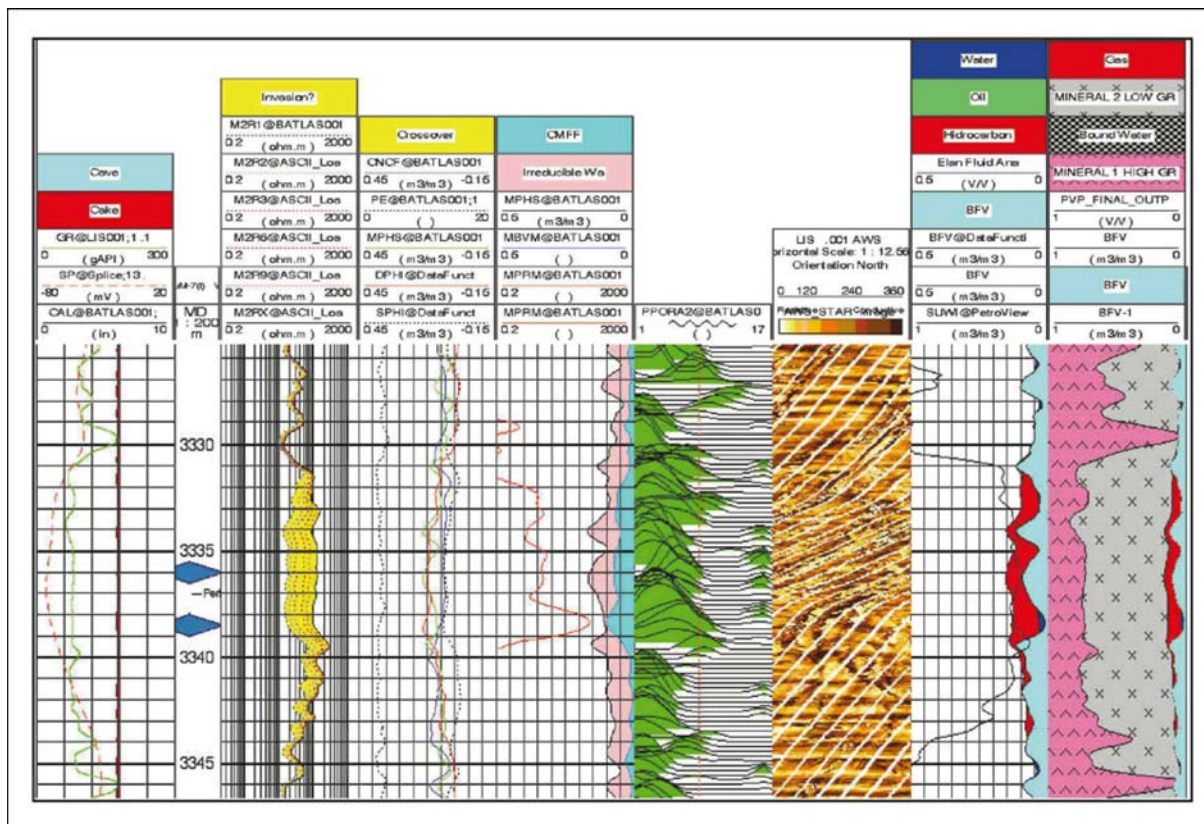


Рис. 26. Петрофизическая оценочная модель.

Газ в Плотных Породах

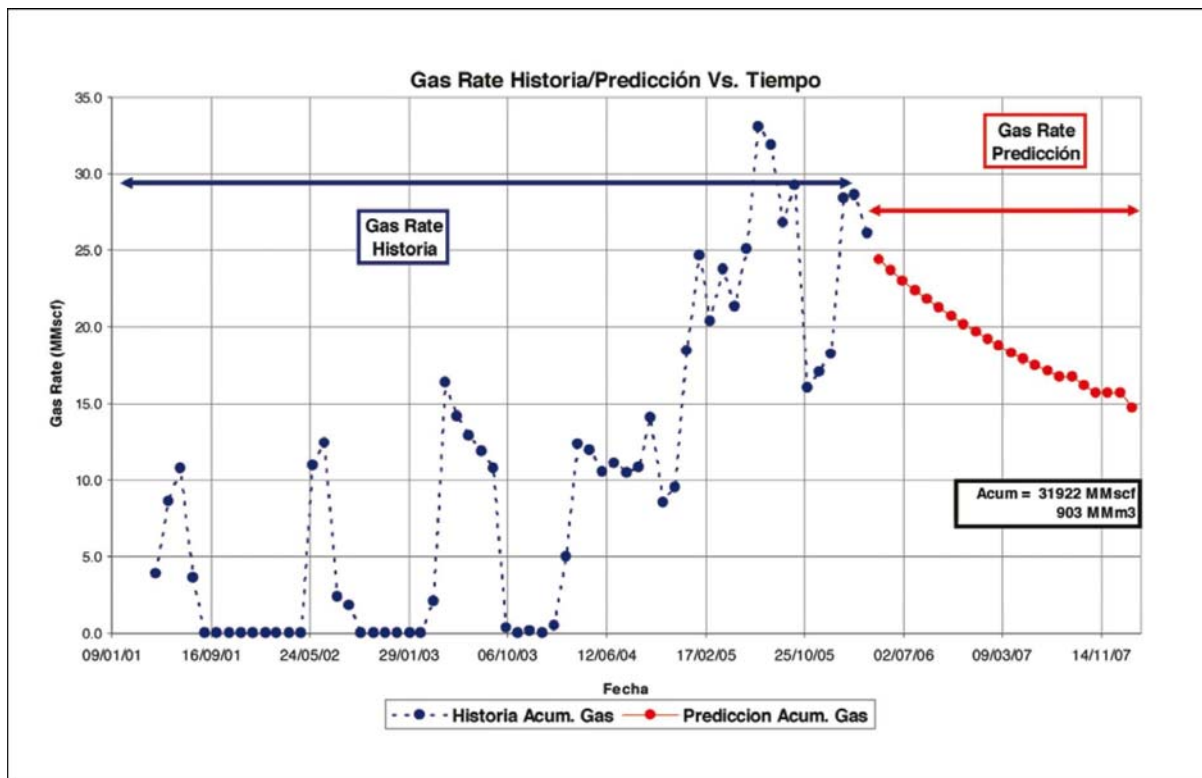


Рис. 27. Характеристика добычи с начала разработки месторождения.

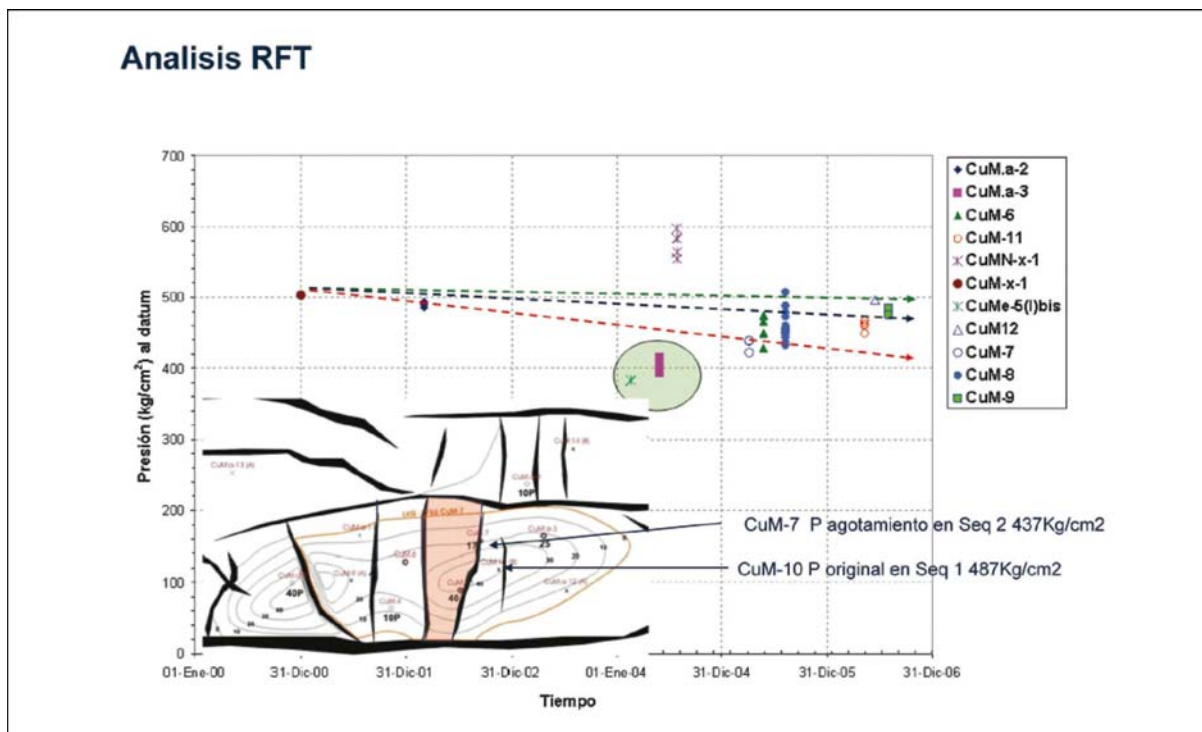


Рис. 28. Изменение пластового давления (формат RFT) с течением времени.

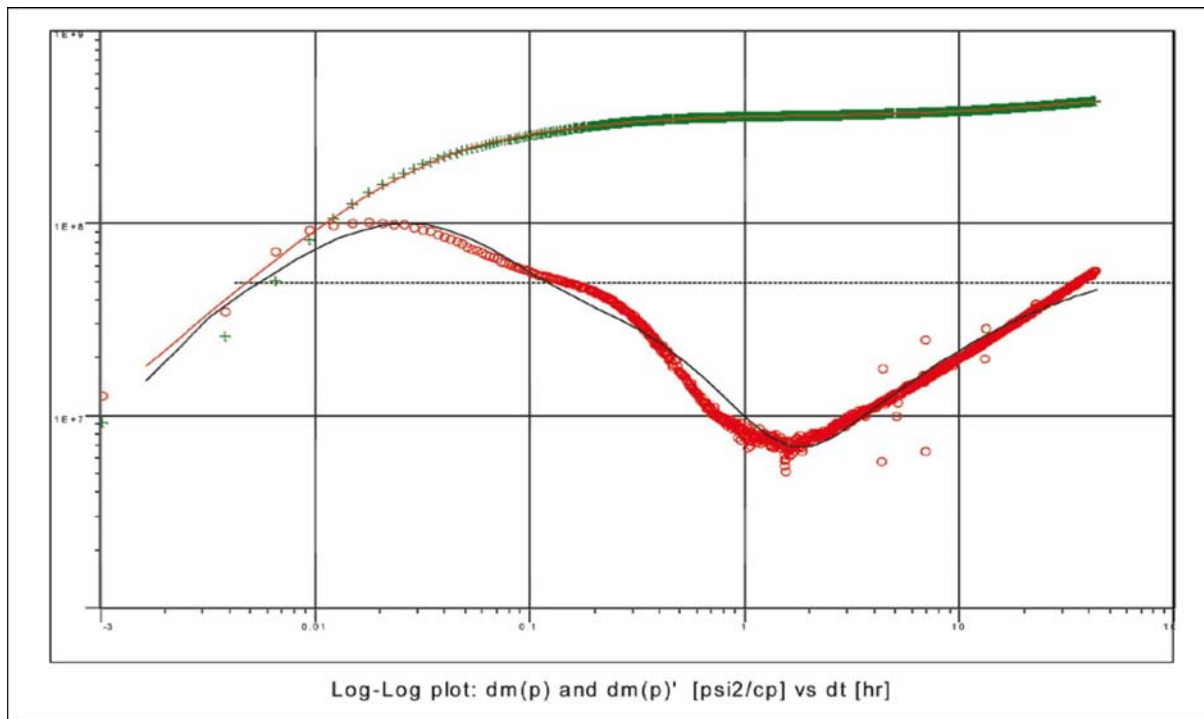


Рис. 29. Опробование скважины CuM.x-1.

Возбуждение скважины: гидроразрыв пласта

Основываясь на опыте Cuper Mahuida и ее характеристиках, был детально разработан проект интенсификации притока в скважину для продуктивных пластов Ресуапо. Но проект по возбуждению притока в скважину усложняет наличие скважин, законченных в нескольких продуктивных пластах, высокое пластовое давление (7000 фунтов/кв. дюйм), гетерогенные слабопроницаемые пласты и присутствие разломов. Некоторые следствия из проведенного анализа помогли оценить продуктивность коллектора, определить наличие разломов и оценить геомеханические параметры для

проектирования разрыва пласта. Стимуляция поровых и проницаемых коллекторов происходила с низкой интенсивностью и в ограниченных объемах. Для пород со слабой проницаемостью и зонами трещиноватости требуются большие объемы нагнетания, чтобы получить более длинные трещины и хорошую связанность. Конечная добыча связана не только с размерами гидравлического разрыва, но и с состоянием продуктивного пласта. Чтобы получить точные параметры для расчета, разумная последовательность действий должна включать создание минитрещин до заключительного гидроразрыва. Уменьшение высоты перфорации является еще одним ныне изучаемым параметром для возбуждения притока в наклонные (под углом 45°) скважины.

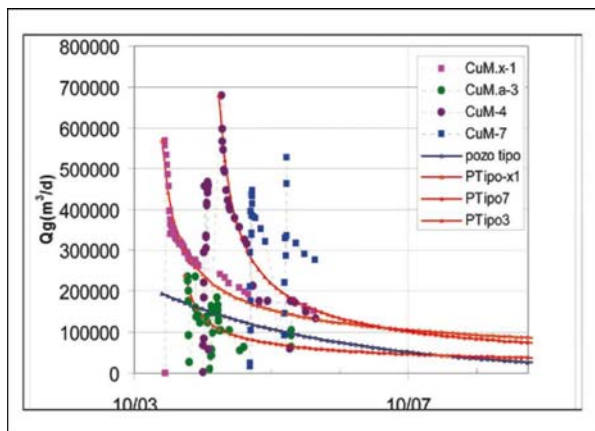


Рис. 30. Типичная скважина. Изменение добычи со временем.

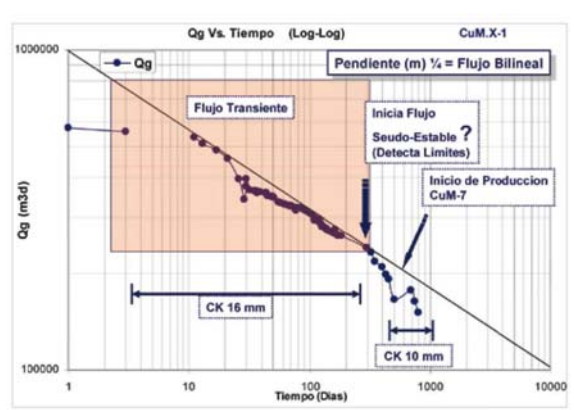


Рис. 31. График в двойном логарифмическом масштабе. Изменение добычи со временем. Наличие билинейного потока возможно благодаря естественной трещиноватости и гидравлическому разрыву.

Буровые Работы

Кроме скважины CuM-9, вертикальные обсаженные скважины нормально функционируют в областях Cupen Mahuida и Cupen Mahuida Norte. После тщательного анализа трещин выяснилось, что наилучшее направление наклонных скважин должно быть СЗ-ЮВ. Скважина CuM-9, пробуренная в Пресуано, впервые в общих чертах изучила поведение наклонной скважины при поперечных разломах. Основываясь на результатах действующих в настоящее время буровых работ, обсуждаются варианты бурения скважин и усовершенствование технологий. В качестве сокращения стоимости работ рекомендуется бурение многоствольных скважин. Конечные оценки выполнения работ привели к улучшению экономических показателей благодаря бурению наклонных и многоствольных скважин (снижение затрат и экономия около 30% времени). Как только будет оценена продуктивность этих сложных коллекторов, можно будет рассмотреть заканчивание скважины с необсаженным забоем. В этих областях также рекомендуется бурение с отрицательным дифференциальным давлением.

Выводы

Коллектор вулканических пород Пресуано, вероятно, будет разрабатываться. Область Cupen Mahuida ставит проблематику в понимании природы сложных коллекторов. Шаги, предпринимаемые сейчас и в будущем, должны включать

выявление соответствующей технологии для разведки и добычи в новых областях. Необходимы дополнительные 3D сейсморазведочные работы для отображения анизотропии коллектора, позволяющие территориально обозначить поры, содержащие газ, проницаемые пласты, систему трещин и обособление коллектора. На такой ранней стадии эксплуатации динамическая характеристика бассейна до сих пор неопределенная. Потребуются адекватные подходы и контроль к измерению давления и испытаниям скважин. Оптимизация технологии бурения и усовершенствования в операциях заканчивания скважин приведут к меньшему инвестированию и стоимости работ и, следовательно, к улучшению экономических показателей.

Благодарности

Автор хотел бы выразить благодарность компании Repsol YPF и геофизикам, инженерам-разработчикам нефтяных и газовых месторождений, специалистам по повышению нефте- и газоотдачи, петрофизикам и геологам-разведчикам, кто занимался оконтуриванием и разработкой проектов Cupen Mahuida и Cupen Mahuida Norte, а именно: Paloma Cabañas, Emmanuel D'huteau, Roberto Ceccarelli, Hugo Araujo, Alexander Rincón, Alberto Ortiz, Angel López, Martin Zubiri и José Silvestro. Отдельная благодарность Richard Lolley за редакцию данной статьи.