

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

**ACTA No. 4
MESA TECNICA DE ROCA SELLO**

INFORMACIÓN GENERAL		
Fecha: 11 de Marzo 2026	Hora Inicio:	Hora finalización:
Lugar: VIRTUAL	Responsable de la reunión: Alberto Valencia	
Minutas por	Alberto Valencia	
Revisada	Alberto Valencia y Javier San Miguel	

CONVOCADOS / ASISTENTES		
Nombre y Apellidos	Delegado y/o Representante	Asistencia
JAVIER SANMIGEL (JSM)	Tygua Consulting Corp. Canada	Virtual Intermitente
ALBERTO VALENCIA (AV)	CPIP	VITUAL

OBJETIVO	
	OBJETIVO DOCUMENTO DE REFLEXION SOBRE LA DISCUSION DE LAS COMPETENCIAS MINIMAS PARA ESPECIALISTAS EN ROCA SELLO Y LA NORMATIVA VIGENTE EN COLOMBIA.

TEMAS TRATADOS		
No.	Tema	Desarrollo
1.	SOLICITUD DE INFORMACIÓN	El Ing. San Miguel sugirió las siguientes competencias, indicando que se pueden ampliar.
2.	COMPETENCIAS SUGERIDAS POR EL ING SAN MIGUEL	<p style="text-align: center;">1. Competencias Técnicas Requeridas para la Evaluación de la Roca Sello</p> <p>Con el fin de garantizar un análisis técnico robusto en la evaluación de la integridad y comportamiento de la roca sello, se recomienda que los profesionales involucrados cuenten con la siguiente formación y experiencia:</p>

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<p>1.1 Formación Profesional</p> <p>Los profesionales deberán contar con título en alguna de las siguientes disciplinas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería de Petróleos • Geología • Se considerará deseable la formación de posgrado en áreas relacionadas con ingeniería de yacimientos, geomecánica, geología del subsuelo o almacenamiento geológico. <p>1.2 Experiencia Técnica y Competencias</p> <p>Los profesionales deberán demostrar experiencia laboral, formación académica y/o entrenamiento técnico en las siguientes áreas:</p> <p>Ingeniería de Yacimientos: Análisis del comportamiento de yacimientos y caracterización dinámica del subsuelo.</p> <p>Pruebas de Presión Transitoria (Well Testing): Evaluación e interpretación de pruebas de presión para determinar propiedades del yacimiento y comportamiento del sistema roca–fluido.</p> <p>Interpretación de Registros de Pozos: Análisis de registros petrofísicos para la caracterización de formaciones y evaluación de propiedades del subsuelo.</p> <p>Geología del Subsuelo: Conocimiento e interpretación de ambientes geológicos deposicionales y su impacto en las propiedades de las formaciones.</p> <p>Análisis de Núcleos (Core Analysis): Interpretación de resultados de laboratorio asociados a muestras de núcleo, incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Distribución del tamaño de grano (Particle Size Distribution – PSD). • Difracción de Rayos X (X-Ray Diffraction – XRD). • Geomecánica: Interpretación de pruebas de laboratorio para la determinación de parámetros geomecánicas, tales como: <ul style="list-style-type: none"> • Módulo de Young • Relación de Poisson
--	--	--

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<ul style="list-style-type: none"> • Ángulo de fricción interna • Resistencia a la compresión y otros parámetros relevantes. <p>Simulación Numérica Geomecánica: Uso de modelos numéricos para evaluar el comportamiento mecánico de las formaciones, utilizando parámetros geomecánicos derivados de laboratorio y de registros de pozo.</p>
3.	INPUT A VALENCIA.	<p>El Ing. Valencia reviso y complemento otros aspectos.</p> <p style="text-align: center;">1. Competencias Técnicas Requeridas para la Evaluación de la Roca Sello</p> <p>En concordancia con estándares y guías internacionales aplicables a la industria (SPE, ISO – especialmente ISO 27914 para almacenamiento de CO₂, y lineamientos de DNV para gestión de riesgo), así como buenas prácticas regulatorias promovidas por la ANH, los profesionales deberían cumplir con los siguientes requisitos:</p> <p>1.1 Formación Profesional</p> <p>Los profesionales deberán contar con título en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería de Petróleos • Geología • Ingeniería Geológica o disciplinas afines <p>Se considerará altamente deseable formación de posgrado en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geomecánica • Ingeniería de Yacimientos • Petrofísica • Geociencias del subsuelo • Almacenamiento geológico de CO₂ (CCS/CCUS)

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<p>1.2 Competencias Técnicas Base (Alineadas con SPE)</p> <p>Caracterización Integrada del Subsuelo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integración de datos geológicos, petrofísicos y dinámicos. • Modelos estáticos y dinámicos del yacimiento y sello. <p>Ingeniería de Yacimientos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de presión, flujo y comportamiento de fluidos • Evaluación de conectividad hidráulica <p>Pruebas de Presión e Integridad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño e interpretación de pruebas de presión • Diagnóstico de fugas y comunicación entre capas <p>Petrofísica Avanzada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de formaciones de ultra baja permeabilidad • Interpretación de registros especiales (NMR, imagen, sínicos) <p>Geomecánica Aplicada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinación del estado de esfuerzos • Evaluación de presión de fractura y estabilidad del sello <p>Simulación Numérica Acoplada (THM/THMC)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelamiento termo–hidro–mecánico y geoquímico o térmico • Evaluación de escenarios de inyección y producción <p>Conocimientos CCS/H2/Gas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Principios y Comportamiento • Captura y almacenamiento
--	--	--

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<p>1.3 Competencias Específicas en Roca Sello (Cap Rock)</p> <p>Capacidad de Sello (Seal Capacity)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de presión capilar, entry pressure y breakthrough • Determinación de altura máxima de columna <p>Caracterización de Medios de Baja Permeabilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de flujo capilar, difusión y permeabilidad efectiva • Análisis de anisotropía y heterogeneidad <p>Análisis de Presión Capilar (MICP y SCAL)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinación de tamaño de garganta de poro • Evaluación de capacidad de retención <p>Evaluación de Fallas y Discontinuidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de sellado de fallas (SGR, CSP) • Evaluación de reactivación bajo cambios de presión <p>Evaluación de Integridad Mecánica del Sello</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de fracturamiento inducido • Evaluación de límites operacionales seguros <p>1.4 Competencias en Almacenamiento Geológico (CO₂, N₂ y Gas Natural)</p> <p>En línea con ISO 27914, guías DNV y prácticas SPE:</p>
--	--	--

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<p>Almacenamiento de CO₂ (CCS/CCUS)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de comportamiento del CO₂ en estado supercrítico • Mecanismos de atrapamiento: estructural, residual, solubilidad y mineralización • Modelamiento geoquímico (reacciones roca–fluido–CO₂) • Evaluación de integridad del sello a largo plazo <p>Almacenamiento de Hidrogeno (H₂)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de eficiencia de almacenamiento • Análisis de desplazamiento de fluidos y comportamiento no reactivo • Impacto en presión y estabilidad del sistema <p>Almacenamiento y Manejo de Gas Natural</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de almacenamiento cíclico (inyección/producción) • Análisis de fatiga geomecánica del sello • Evaluación de pérdidas y migración de gas <p>1.5 Monitoreo, Verificación y Gestión de Riesgos (MMV)</p> <p>Alineado con ISO, DNV y buenas prácticas regulatorias:</p> <p>Monitoreo e Integridad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de programas MMV (presión, sísmica, geoquímica) • Seguimiento de la pluma* de CO₂ o gas almacenado <p>* conjunto de actividades técnicas para monitorear cómo se mueve, se expande y se comporta ese gas en el subsuelo después de ser inyectado.</p>
--	--	--

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<p>Es el conjunto de actividades técnicas para monitorear cómo se mueve, se expande y se comporta ese gas en el subsuelo después de ser inyectado.</p> <p>Gestión de Riesgo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación probabilística de fugas • Identificación de escenarios de falla <p>Análisis de Incertidumbre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de sensibilidad de parámetros críticos • Actualización de modelos con datos reales <p>Integridad a Largo Plazo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación en escalas de tiempo geológicas • Cumplimiento de criterios de confinamiento seguro • Evaluación de sistemas de sello con tecnologías para garantizar el sello por la vida del pozo (cemento, resinas, etc) <p>1.6 Conocimientos Específicos en CCS / Hidrógeno (H₂) / Gas</p> <p>Adicionalmente, los profesionales deberán demostrar conocimientos técnicos en tecnologías de almacenamiento y manejo de gases, incluyendo:</p> <p>a. CCS / CCUS (Captura, Uso y Almacenamiento de Carbono)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Principios de captura de CO₂ (post-combustión, pre-combustión, oxy-fuel) • Comportamiento del CO₂ en condiciones de subsuelo (fase supercrítica) • Mecanismos de atrapamiento: <ul style="list-style-type: none"> ○ Estructural
--	--	---

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<ul style="list-style-type: none"> ○ Residual ○ Por solubilidad ○ Mineralización • Interacciones geoquímicas roca–fluido–CO₂ y su impacto en la integridad del sello • Evaluación de riesgo de fuga y contención a largo plazo • Requerimientos de monitoreo, medición y verificación (MMV) <p>b. Almacenamiento de Hidrógeno (H₂)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades físicas del hidrógeno: <ul style="list-style-type: none"> ○ Alta movilidad ○ Baja densidad ○ Alta difusividad • Riesgos asociados a: <ul style="list-style-type: none"> ○ Fugas por difusión ○ Reacciones geoquímicas y microbiológicas • Compatibilidad con roca sello y materiales del subsuelo • Evaluación de integridad en almacenamiento cíclico • Consideraciones de seguridad y pérdida de volumen almacenado <p>c. Almacenamiento de Gas Natural y Otros Gases (incl. N₂)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento de gases compresibles en el subsuelo • Evaluación de almacenamiento en: <ul style="list-style-type: none"> ○ Yacimientos depletados ○ Acuíferos salinos • Conceptos de: <ul style="list-style-type: none"> ○ Cushion gas ○ Working gas • Evaluación de ciclos de inyección–producción y su impacto en el sello • Análisis de migración, pérdidas y eficiencia de almacenamiento
--	--	--

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<p>d. Integridad y Confinamiento Multigas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparación de comportamiento entre CO₂, H₂, CH₄ y N₂ • Evaluación de presión capilar diferencial entre gases • Impacto de propiedades físico-químicas en la capacidad de sello • Análisis de escenarios de mezcla de gases <p>e. Enfoque de Riesgo y Regulación Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento de estándares aplicables (ISO 27914, guías DNV, SPE) • Evaluación de riesgos específicos por tipo de gas • Principios de almacenamiento seguro a largo plazo • Adaptación a contextos regulatorios emergentes (como el colombiano)
3.	Normas de referencia	<p>En Colombia, si bien existe un marco legal general que reconoce la captura y almacenamiento de carbono, no se cuenta aún con una regulación técnica específica y detallada para el almacenamiento geológico de CO₂ y gases asociados.</p> <p>SPE, ISO, DNV constituye los estándares internacionales y actualmente la principal referencia técnica para el diseño, evaluación y aseguramiento de la integridad de los proyectos.</p> <p>Evolución Normativa en Colombia: De la Evaluación General a la Especificidad del Sello Litológico</p> <p>En Colombia, el Ministerio de Minas y Energía sentó las bases regulatorias a partir de 2009 con la Resolución 181495. Esta normativa estableció guías cruciales para la industria petrolera, basándose en estándares reconocidos internacionalmente, como los de la API (American Petroleum Institute), AGA, NFPA, NTC-ICONTEC y RETIE, o</p>

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<p>cualquier otra que las modifique. Entre sus puntos clave, esta resolución destacó la importancia del control de datos, los informes periódicos, las pruebas de formación, la integridad del pozo, el abandono de operaciones y el estudio de las presiones de inyección.</p> <p>En Colombia, la Resolución 9-0341 de 2014 marcó un hito al establecer requisitos técnicos para la exploración y explotación en yacimientos no convencionales. Esta normativa abarcó aspectos cruciales como la integridad de pozos y la evaluación de formaciones dentro del marco de los Proyectos Piloto de Investigación Integral (PPII). También delineó directrices para asegurar la integridad del pozo mediante operaciones de cementación, requisitos para la estimulación hidráulica y consideraciones para pozos inyectores de fluido de retorno y agua de producción. Sin embargo, a pesar de la constante mención de la "evaluación de formaciones", esta resolución no hace referencia específica a la roca sello ni a su evaluación detallada, y tampoco incluye consideraciones especiales para la inyección de CO2 o gases.</p> <p>Más recientemente, la Resolución 40537 del 11 de diciembre de 2024, emitida por el Ministerio de Minas y Energía, representa un avance significativo. Esta resolución otorga un mayor énfasis a la definición e importancia del sello litológico, particularmente en su Artículo 33. Aunque se vuelve más específica sobre las características geológicas de aislamiento de las formaciones sello en el contexto de la disposición de aguas de producción, aún omite los criterios básicos detallados para su evaluación.</p>
	Referencia técnica.	<p>Referencias.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Revista Anales de Ingeniería (edición 961) – Sociedad Colombiana de Ingeniería (Abril, 2024), Seguridad Energética sostenible. El aprovechamiento del subsuelo para el almacenamiento del H2 y el CO2 en la transición energética. Alberto Valencia – Ingeniero de Petróleos M.P. 752; Javier E. Sanmiguel – Ingeniero de Petróleos, M. P. 1364. https://sci.org.co/edicion-961-transicion-energetica/ 2. Alberta Energy Regulator. Directive 023: Oil Sands Project Applications

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<ol style="list-style-type: none"> 3. Alberta Energy Regulator. Directive 040: Oil Sands Project Applications 4. Alberta Energy Regulator. Directive 065: Oil Sands Project Applications 5. Bruno, M., K. Lao, J. Diessl, B. Childers, J. Xiang, N. White, and E. van der Veer. Development of Improved caprock integrity analysis and risk assessment techniques. Energy Procedia 63 (2014) 4708 – 4744 6. Canadian Natural Resources Ltd. Primrose Flow to Surface Causation Report. Calgary, Alberta, Canada. June 27, 2014 7. Costin, S., R. Smith, Y. Yuan, D. Andjelkovic, and G. Garcia Rosas. In-Situ Stresses in Colorado Group, AB, Calculated from Open-Hole Mini-Fracs and FMI Logs. Paper SPE 196037, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Calgary, Alberta, Canada, 30 Sep - 2 October 2019 8. Du, H., M. Radonjic, and A.O., Olabode. Impact of Clay Mineralogy on Geomechanics of Shale Caprocks. Paper ARMA 17-700, presented at the 51st US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium held in San Francisco, California, USA, 25-28 June 2017 9. Edlmann K., Niemi A. , Bensabat J. , Haszeldine R.S., and McDermott C.I. Mineralogical properties of the caprock and reservoir sandstone of the Heletz field scale experimental CO2 injection site, Israel; and their initial sensitivity to CO2 injection. International Journal of Greenhouse Gas Control · January 2016 10. ERCB Staff Review and Analysis. Total E&P Canada Ltd. Surface Steam Release of May 18, 2006 Joslyn Creek SAGD Thermal Operation. February 11, 2010 11. Jayasekara, D., P.G. Ranjith, P., Wanniarachchi, W., Rathnaweera, T.. Understanding the chemico-mineralogical changes of caprock sealing in deep saline CO2 sequestration environments: A review study. The Journal of Supercritical Fluids, 161 (2020) 12. Khani, A., Deisman, N., and Chalaturnyk, R.. Back Analysis of Joslyn Steam Release Incident Using Coupling Reservoir
--	--	--

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

		<p>Geomechanical Model. Search and Discovery Article #80550 (2016)</p> <p>13. Kiraly, C., A. Szamosfalvi, L. Zilahi-Sebess, E. Sendula, I. Kovacs, P. Konya, B. Udvardi, Z. Szabo, C. Szabo, and G. Falus. Detailed mineralogical and petrographic analysis of the caprock from a natural CO2 occurrence in Hungary. Energy Procedia 114 (2017) 4926 - 4933, presented in 13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland, 14-18 November 2016</p> <p>14. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. resolución 181495 de 2009. Bogotá, Colombia</p> <p>15. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. resolución 9-034 de 2014. Bogotá, Colombia</p> <p>16. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. resolución 40537 de 2024. Bogotá, Colombia</p> <p>17. Opedal, N., A. Lavrov, A., Todorovic, J., and Torsæter, M., The importance of shale caprock damage for well integrity. International Journal of Greenhouse Gas Control. 74, 2018, 182-190</p> <p>18. Pearce, J., and Grant Dawson, G.. Experimental Determination of Impure CO2 Alteration of Calcite Cemented Cap-Rock, and Long Term Predictions of Cap-Rock Reactivity. Geosciences Journal, 2018, 8, 241</p> <p>19. Radwan, A. E.. Modelling pore pressure and fracture pressure using integrated well logging, drilling based interpretations and reservoir data in the giant El Morgan oil field, Gulf of Suez, Egypt. Journal of African Earth Sciences 178 (2021) 104165</p> <p>20. Trujillo, N., Rose-Coss, D., Heath, J., Dewers, T., Ampomah, W., Mozley, P., and Cather, M.. Multiscale Assessment of Caprock Integrity for Geologic Carbon Storage in the Pennsylvanian Farnsworth Unit, Texas, USA. Energies 2021, 14, 5824</p> <p>21. Wang, H., Sharma, M.. A rapid injection flowback test (RIFT) to estimate in-situ stress and pore pressure— Journal of Petroleum Science and Engineering.</p>
--	--	--

 Consejo Profesional de Ingeniería de Petróleos	ACTA DE REUNIÓN	Código	PE-FOR-001
		Fecha	25/03/2020
		Revisión	001

COMPROMISOS Y VARIOS			
	Tarea/Actividad	Responsables	Fecha
1.	EVALUAR DOCUMENTO DE REFLEXION DE COMPETENCIAS	A VALENCIA JAVIER SAN MIGUEL	19/3/2026
2.	Revisión	Futuros pares o revisores	Pendiente
3.			
PRÓXIMA REUNIÓN		Dic por definir.	
Lugar:	Virtual	Fecha:	Por definir
		Hora:	
ANEXOS	SI () NO (X)		
ELABORÓ			
Para Constancia Firman			
Nombre		Cargo	Firma
ALBERTO VALENCIA HORMAZA		DIRECTOR EJECUTIVO CPIP	