



LA REINGENIERÍA DE LA DESINGENIERÍA DE POZOS DE PETRÓLEO Y GAS

ARTÍCULO ORIGINAL

LIMA, Leandro Jose Barbosa¹, HAMZAGIC, Miroslava²

LIMA, Leandro Jose Barbosa. HAMZAGIC, Miroslava. **La reingeniería de la desingeniería de pozos de petróleo y gas**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Año. 07, ed. 07, vol. 03, pág. 23-68. Julio 2022. ISSN: 2448-0959, Enlace de acceso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria

RESUMEN

La reingeniería es un término creado en la década de los 80, que se enfoca en repensar la forma en que las empresas realizan sus actividades, con el fin de reducir costos, mejorar el servicio al cliente y ser más competitivas. La desingeniería, por otro lado, considera qué hacer con las instalaciones industriales una vez que la empresa ya no está en actividad. En esta ocasión, este artículo

¹ Graduado en Ingeniería de Petróleos por la Universidad Estácio de Sá (UNESA) y Graduado en Tecnología Mecánica con énfasis en Automatización Industrial por el CEFET/RJ. Magíster en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Taubaté (UNITAU), MBA en Gestión Empresarial de la Fundação Getúlio Vargas (FGV), MBA en Gestión de Proyectos de la Fundación de apoyo CEFET/RJ, Especialista en Ingeniería de Seguridad del Trabajo de la Universidad Candido Mendes (UCAM), Especialista en Ingeniería de Petróleos de la Universidad Estácio de Sá (UNESA) y Supervisor de Radioprotección certificado por la CNEN. ORCID: 0000-0002-6647-3914.

² Asesor. Graduada en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad de Taubaté, UNITAU, con posgrado en Gestión de Marketing e Ingeniería en Seguridad del Trabajo por la Escuela Politécnica de Pernambuco. Máster en Gestión del Desarrollo Regional por la UNITAU y Doctor en Ingeniería de Producción por la Escola Politécnica da USP. ORCID: 0000-0001-8082-5763.



pretende responder a la siguiente pregunta orientadora: ¿Cuáles son las posibilidades de utilizar estructuras y materiales de pozos ya agotados utilizando los conceptos de Reingeniería o Desingeniería? Luego del análisis del documento se logró establecer una propuesta alternativa para incrementar la vida útil de los pozos de Petróleo y Gas a través de los conceptos aplicados.

Palabras clave: Desingeniería, Reingeniería, Petróleo, Pozos, Yacimiento.

1. INTRODUCCIÓN

Un pozo de petróleo y gas es una gran hazaña de ingeniería, su construcción puede llevar días o incluso meses y es esencial para generar energía a partir del combustible.

Thomas (2001) aclara que el combustible que las sociedades consumen como energía mecánica en los vehículos, en forma de energía térmica en los hogares o industrias, o bien, en forma de energía eléctrica en los diversos aparatos que hacen girar la economía, es sólo el fin resultado de la cadena existente para producir energía (THOMAS, 2001).

En una cadena de producción compleja, cada paso del proceso es importante, y la rentabilidad y la eficacia del desempeño deben llevarse a cabo en cada paso. Así, los pozos son considerados uno de los pasos susceptibles de buscar mayor efectividad en su vida y desempeño. En este contexto, está la importancia de la Reingeniería y la Desingeniería.

Reingeniería es un término creado por Michael Hammer y James Champy, que se enfoca en repensar la forma en que las empresas realizan sus actividades para reducir costos, mejorar el servicio al cliente y volverse más competitivas (HAMMER; CHAMPY, 1993), Desingeniería considera qué hacer con instalaciones



industriales una vez que la empresa ya no está en actividad y fue descrito por Luis Enrique Sánchez en 2001.

En este contexto, como en otras aplicaciones de la industria, la reingeniería puede dar otros destinos a estos materiales metálicos, especialmente en el caso de yacimientos ya agotados, no económicamente viables, o pozos que pueden no ser de interés para la industria petrolera. Pozos que tienen una configuración geológica conocida, que muchas veces ya tienen capacidad como reservorio, y que muchas veces ya tienen alguna estructura creada, pero ¿cómo se puede utilizar la reingeniería en estos casos? ¿Cómo pueden estas estructuras devolver su valor a la sociedad?

Son estas respuestas las que actúan como objetivo de esta investigación, realizada a través de la demostración de la perforación de pozos y sus variables, el reconocimiento de pozos petroleros, agotamiento y finalmente, las alternativas a través de los conceptos de Reingeniería y Desingeniería.

2. ACLARACIONES GENERALES SOBRE POZOS

Según la clasificación de la *Agência Nacional do Petróleo* – ANP (2017)[3], existen varios tipos de pozos que se pueden perforar. La Tabla 1 promueve la clasificación de 10 tipos de categorías:



Tabla 1 – Clasificación de Pozos en Brasil

Categoria	Finalidade
1	Poço Exploratório Pioneiro
2	Poço Exploratório Estratigráfico
3	Poço Exploratório de Extensão
4	Poço Exploratório Pioneiro Adjacente
5	Poço Exploratório para Prospecto Mais Raso
6	Poço Exploratório para Prospecto Mais Profundo
7	Poço Exploratório de Produção
8	Poço Exploratório de Injeção
9	Poço Especial
10	Poço de Estocagem

Fuente: Agência Nacional do Petróleo (2017)

Cada uno de los tipos de pozos tiene especificidades, durabilidad y efectividad diferenciada, lo que convierte a las organizaciones en un desafío para trabajar a su máximo potencial.

Hay características muy singulares que definen dónde se va a perforar un pozo y el potencial de una región para ser o no productora de petróleo y gas natural, lo que también incluye casos en los que puede haber controversias.

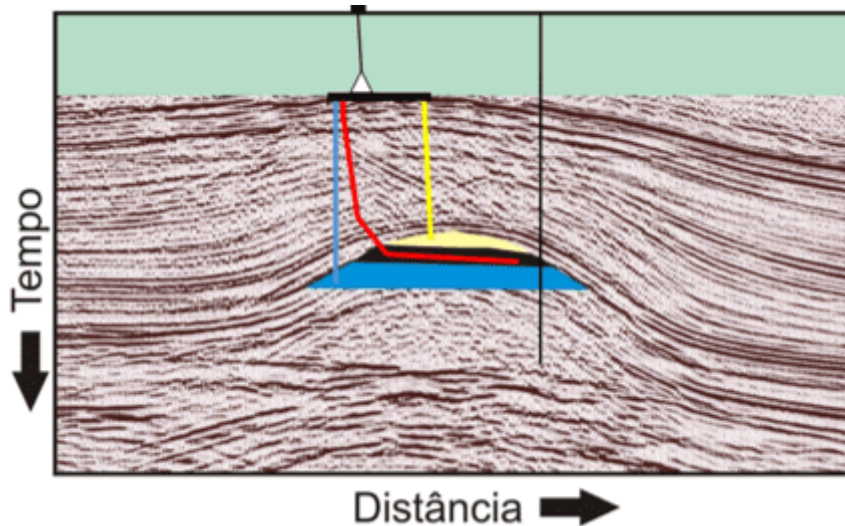
Así, para que el yacimiento de petróleo y gas esté presente, se necesita una configuración muy singular, especialmente en relación con las rocas sedimentarias, y otro tipo de rocas, lo que debe implicar una categorización y estructuración de una roca generadora, una roca de almacenamiento y un sellado trampa de roca o estructural que garantiza la estanqueidad del yacimiento, sin la cual el petróleo o el gas podrían ser liberados a la superficie, por lo que se utilizan técnicas como magnetometría, gravimetría y sísmica de reflexión.

RC: 121941

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>

La Figura 1 muestra una condición de un yacimiento en perspectiva sísmica de reflexión, mostrando 3 pozos perforados en amarillo (vertical), azul (vertical) y rojo (horizontal) (THOMAS, 2001).

Figura 1 – Pozos en perspectiva de la sísmica de reflexión



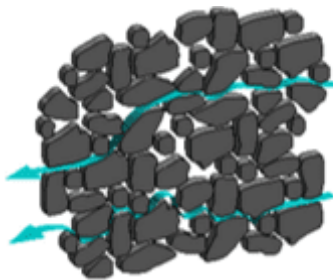
Fuente: Lopes y Assunção (2010)

Cuando se encuentran las condiciones ideales, se perforan pozos exploratorios para confirmar las condiciones observadas en la superficie, así como también, se confirman las profundidades de las rocas mediante las técnicas de core, para ello se utilizan análisis petrofísicos y geopaleontológicos, por métodos indirectos como las utilizadas por la geofísica en el registro de pozos (THOMAS, 2001). Además de las características más conocidas, es importante conocer los coeficientes de fractura, porosidad y permeabilidad de las rocas, descritos por la ley de Darcy, que permiten estimar el potencial de la reserva y el factor de recuperación.

La figura 2 demuestra la forma del fluido que fluye entre los vacíos de la roca (SANSONE, 2015).



Figura 2 – Ilustração de la permeabilidad de la roca



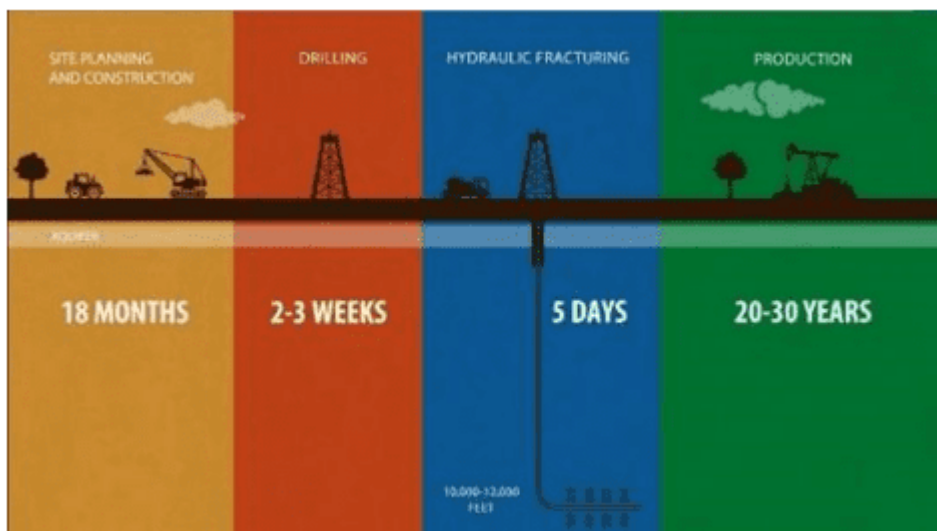
Fuente: (SANSONE, 2015)

Es importante señalar que si bien muchas veces se confirman condiciones ideales geológicas y de estanqueidad, muchos de estos pozos perforados terminan siendo abandonados, ya que las expectativas de reservas pueden no considerarse buenas por ser secas, anhídrido carbónico, agua, duras o blandas, por lo que Se utilizan tapones de cemento permanentes para sellar estos depósitos (THOMAS, 2001).

La Figura 3 presenta una perspectiva del tiempo requerido en cada etapa del proceso de construcción de un pozo petrolero hasta la fase de producción (CONOCOPHILLIPS, 2015).



Figura 3 – Ilustração do tempo do ciclo de vida do poço

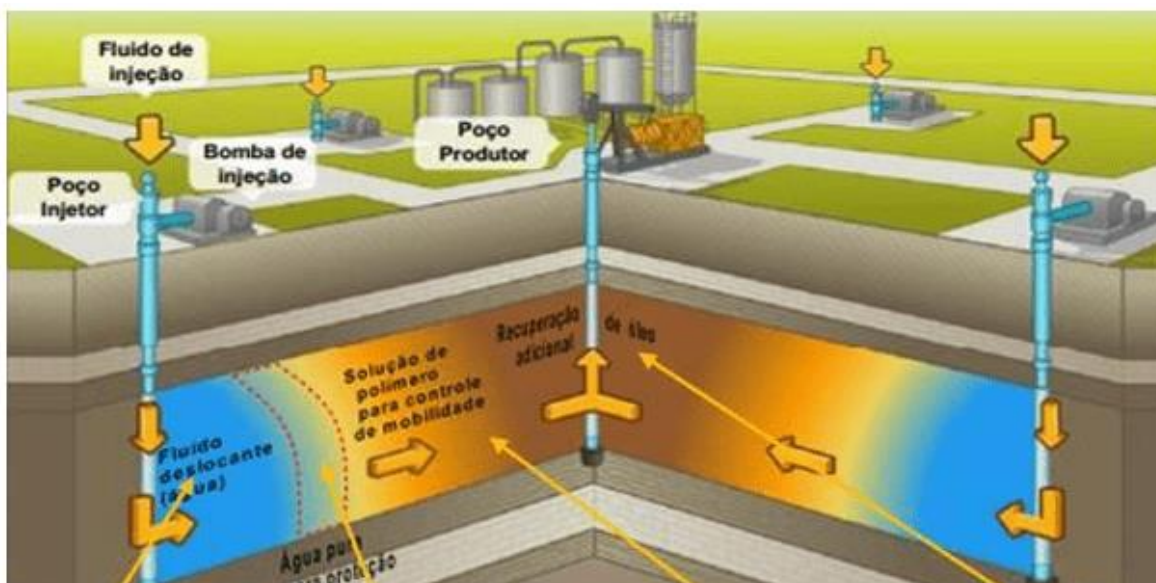


Fuente: (CONOCOPHILLIPS, 2015)

Los pozos que se consideran productivos tienen terminado su proceso de construcción, y en algunos casos se perforan pozos auxiliares de bombeo de agua en los extremos para permitir un mayor aprovechamiento de la reserva presente en el yacimiento, aumentando así su factor de recobro.

La Figura 4 demuestra cómo se forman frentes para la producción no predatoria de yacimientos de petróleo y gas natural (ROSA, 2006).

Figura 4 – Ilustração do processo de injeção para a produção de pozos, com frente de avance.



Fuente: SILVA et al., (2014)

Además del mantenimiento periódico de los pozos, los yacimientos también pasan por procesos de intervención con el fin de maximizar su producción. Ejemplos de estos procesos incluyen: procesos de estimulación química, fracturación hidráulica y procesos de reingreso utilizando técnicas como la *coiled tubing*. Estas acciones tienen como objetivo proporcionar la máxima cantidad de aceite en el menor tiempo para obtener un retorno de la inversión.

El gráfico 1 muestra la producción de petróleo y gas natural de un campo a lo largo de los años. Se observa que al inicio de la curva hay un incremento en la producción debido a la perforación de más pozos en este campo para maximizar su producción, así como otras intervenciones que pueden ser la adición de pozos de inyección de agua o CO₂ (EOR – *Enhanced Oil Recovery*), además de las técnicas mencionadas anteriormente, hasta que se inicie un período de declive en la producción (ROSA, 2006).

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>

Gráfico 1 – Produção de um campo em el tiempo



Fuente: PETROBRAS (2015)

Es posible observar que, en un momento dado, los costos de producción de un pozo terminan por no ser viables para el titular del campo, lo que puede definirse por el abandono del pozo, por el traslado a las comunidades, o, por otras empresas de menor tamaño, ya sea por la baja producción o por cambios significativos en las relaciones petróleo-agua, gas-petróleo, o la producción de arena; en momentos en que una intervención ya no vale la pena (ROSA, 2006; THOMAS, 2001).

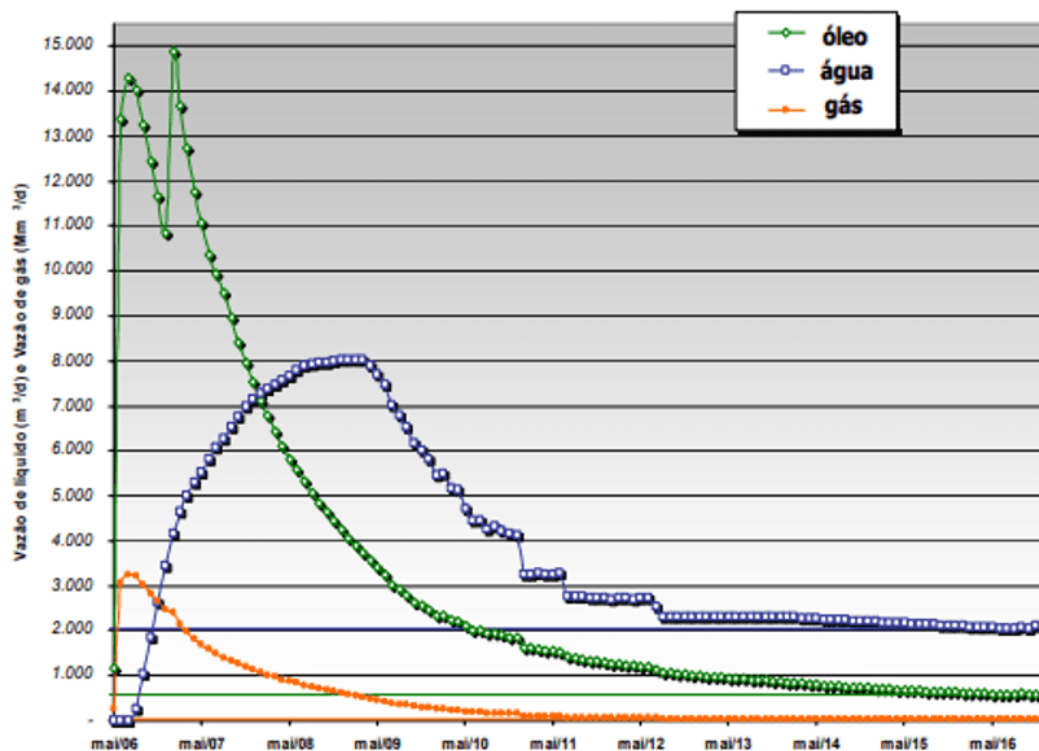
Hay casos exitosos donde, a través de la inversión y el uso de técnicas más avanzadas, es posible automatizar el proceso de separación de subproductos no deseados y aumentar la producción de los pozos, como se observó recientemente en Brasil, donde una empresa privada logró aumentar la producción de campos maduros en un 30% (JÁCOME, 2021).

RC: 121941

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>

El gráfico 2 muestra un ejemplo de cómo se puede comportar la producción de petróleo, agua y gas a lo largo de los años en un yacimiento.

Gráfico 2 – Produção de água, petróleo y gas a lo largo del tiempo



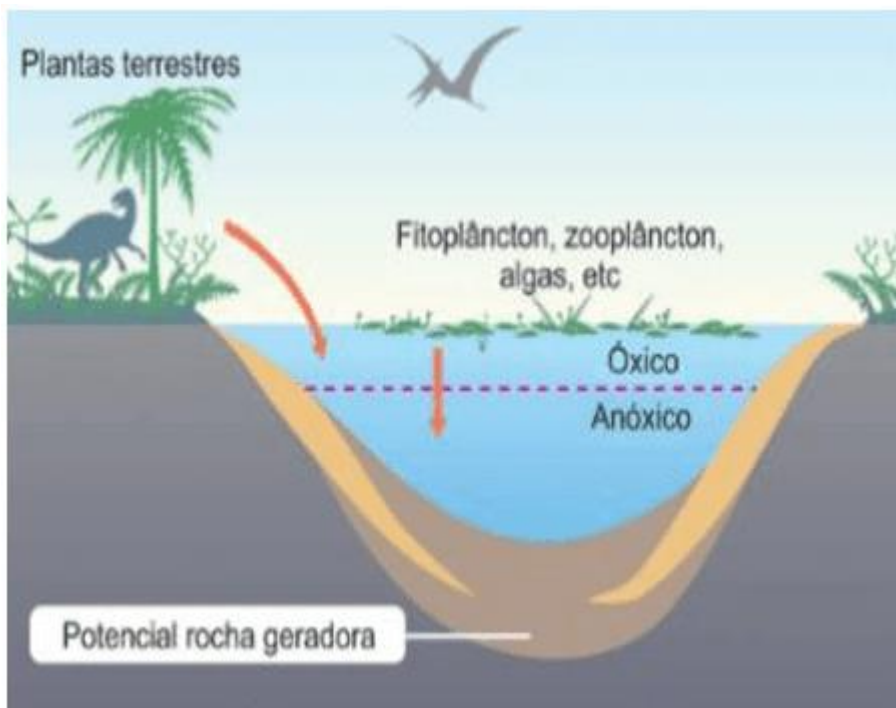
Fuente: CEPEMAR (2005)

Al final del ciclo de vida de un pozo, un reservorio o cuando es necesario el mantenimiento del pozo, el equipo es retirado de los pozos y luego devuelto a la superficie (THOMAS, 2001) y necesita ser tratado para un posterior proceso de reciclaje. Sin embargo, en algunos casos, existe la presencia de la producción de materiales como *norm* y *lo tenorm*[4] que necesitan un destino muy específico para la reutilización de material metálico (LINCERADIO, 2021).

3. EL DEPÓSITO DE PETRÓLEO

Las principales rocas reservorio son calizas y areniscas, su formación se viene dando desde hace miles de años, principalmente en condiciones relacionadas con la presencia de cuencas sedimentarias. Como se ve en la figura 5a, la acumulación de materia orgánica en miles de años se formará en la roca generadora (MATLAK AL-HAJERI, *et al.*, 2009; ROSA, 2006; THOMAS, 2001).

Figura 5a – Formación de cuenca sedimentaria

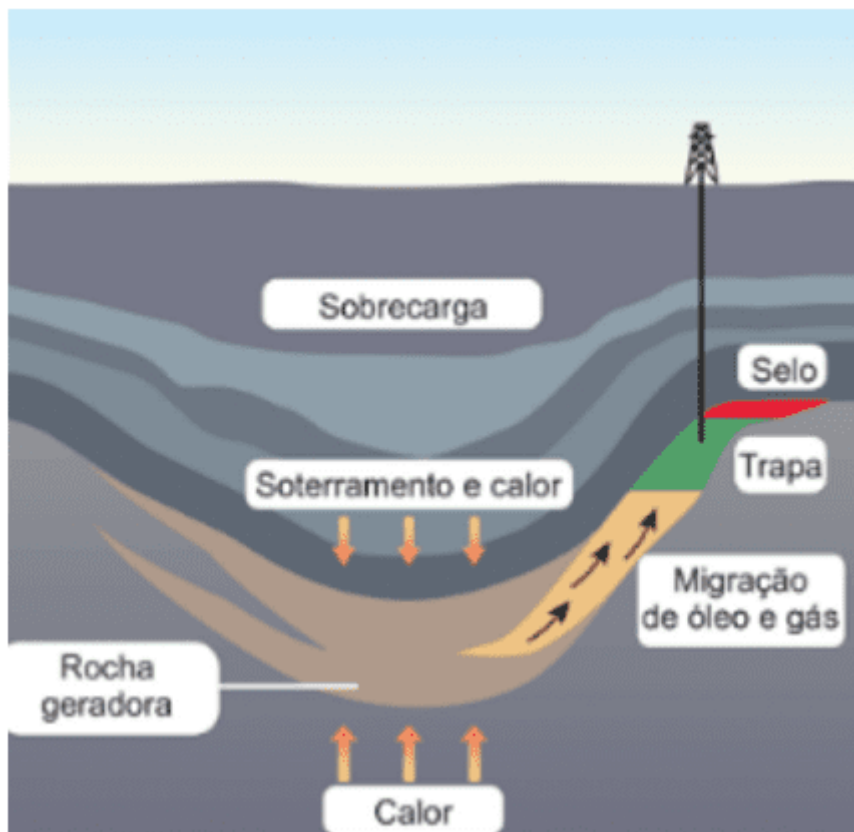


Fuente: MATLAK AL-HAJERI, *et al.*, (2009)

En la figura 5b, la lutita, que con la acción de la presión y la temperatura producirá hidrocarburos, los cuales bajo ciertas condiciones pueden migrar a rocas sedimentarias porosas que los almacenarán, existiendo algún tipo de mecanismo

de atrapamiento, roca selladora o trampa estructural (MATLAK AL-HAJERI, *et al.*, 2009; ROSA, 2006; THOMAS, 2001).

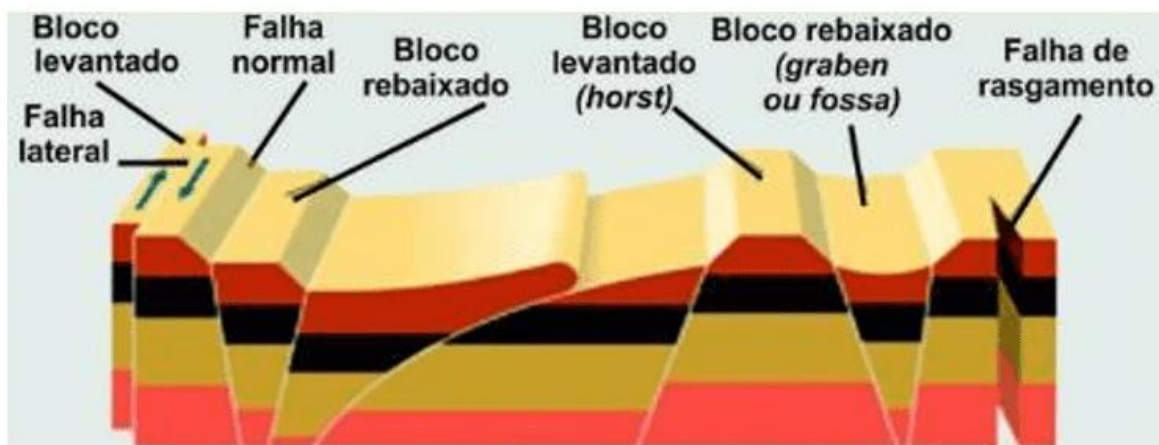
Figura 5b – Processo de geração de petróleo de la cuenca sedimentaria ilustrada en la Figura 5a



Fuente: MATLAK AL-HAJERI, *et al.*, (2009)

Según Castro Faria (2013) y Rosa (2006), la trampa estructural puede darse de varias formas, siendo una de ellas los domos salinos, o alteraciones que se dan en depósitos rocosos en ríos de cuencas sedimentarias o incluso alteraciones que se dan durante el proceso de geoformación.

Figura 6 – Ilustração com los diferentes tipos de fallas geológicas

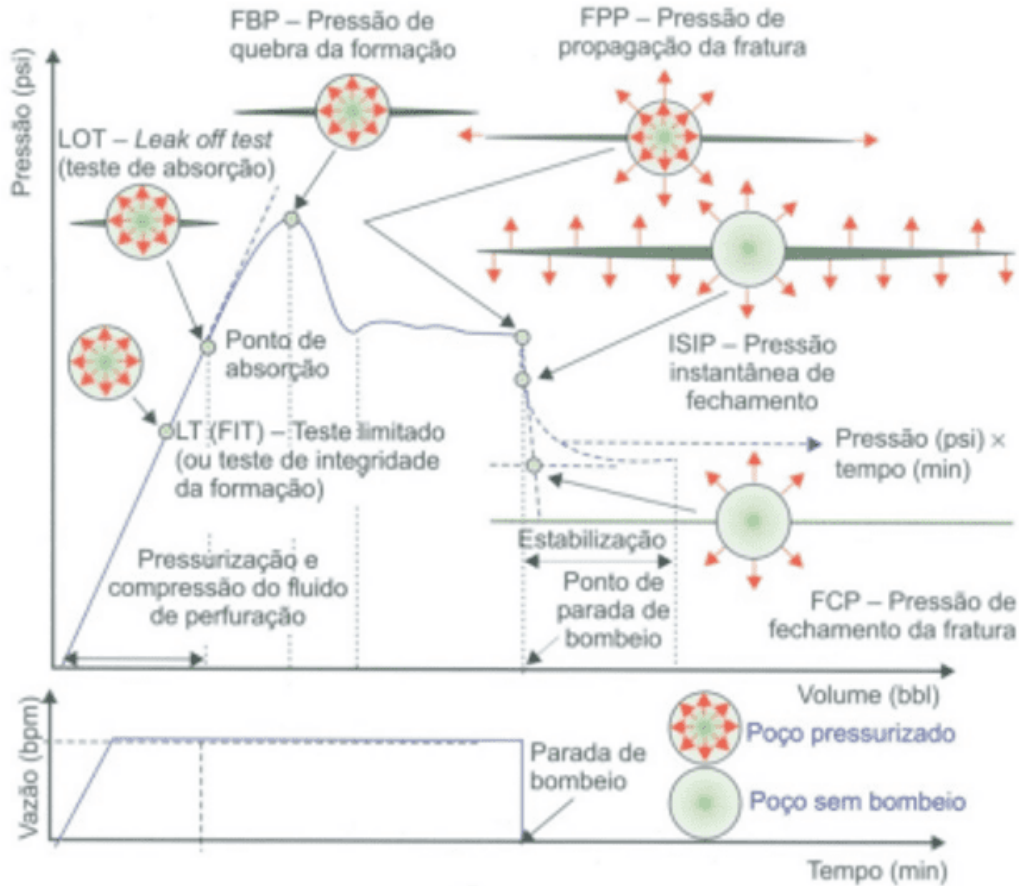


Fuente: Castro Faria (2013)

Es importante señalar que el yacimiento de aceite recibe este nombre precisamente porque garantiza, hasta ciertos límites de presión, la capacidad de mantener su estanqueidad. La presión de formación, la porosidad y la permeabilidad son características que determinan los límites de presión que puede contener este yacimiento sin causar daño o fractura a la formación, las porosidades y la permeabilidad determinan la capacidad de cómo un fluido puede fluir a través de esta roca, siendo estas características importantes determinar la capacidad o volumen del yacimiento y la reserva, así como, determinar el factor de recobro y la curva de producción estimada, lo cual puede ser auxiliado por la prueba de formación.

El Gráfico 3 demuestra uno de los tipos de pruebas de presión realizadas en los reservorios. El conocimiento de los límites de presión ayuda a comprender las capacidades de usos futuros de estos reservorios (PUC/RJ, 2011; ROSA, 2006; THOMAS, 2001).

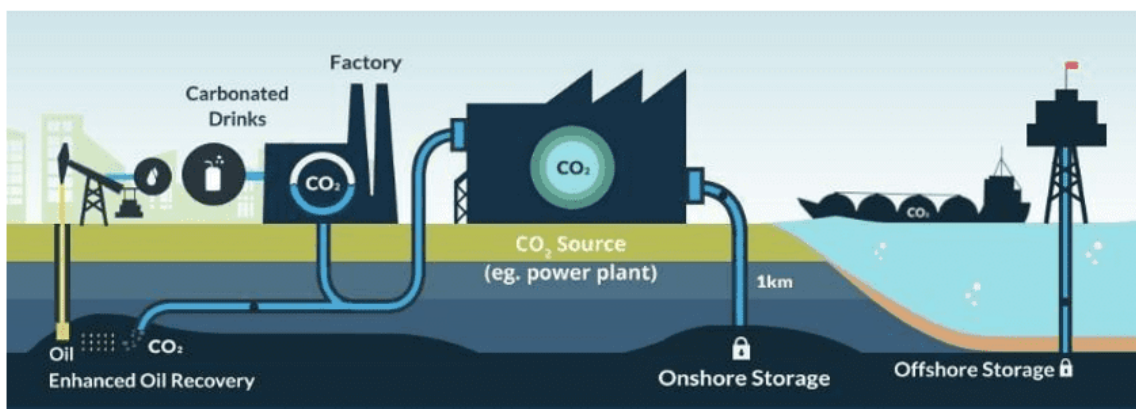
Gráfico 3 – Prova de pressão de formação



Fuente: (PUC/RJ-2011)

Con base em informação sísmica, perfis geofísicos y pruebas de formación, incluyendo permeabilidad y porosidad, es posible determinar el valor estimado del volumen y espacios vacíos de un reservorio, y así estimar su reserva o capacidad (ROSA, 2006). La Figura 7 demuestra la superposición de diferentes rocas sedimentarias que forman una región de interés para la industria petrolera. Cuando un depósito se agota, puede servir para acumular otro tipo de materiales además del pozo de un kilómetro de profundidad (ZHANG *et al.*, 2019).

Figura 8 – Modelo del Proceso de Captura y Secuestro de Carbono



Fuente: Government of the Republic of Trinidad and Tobago (2021)

3.1 CANTIDAD DE POZOS PERFORADOS Y POTENCIAL

Las tablas 2 y 3 se realizaron con datos publicados por la Agencia Nacional de Petróleo, Gas y Biocombustibles y demuestran el tamaño del número de pozos perforados en Brasil año tras año, tanto en *onshore* como en *offshore*.

Tabla 2 – Estado, cantidad y profundidad de los pozos perforados en Brasil

Clasificación	Número de pozos	Profundidad media medida (metros)
Abandonado	11870	-2898
Devastado	2624	-1387
Evaluación	7743	-3186
En uso	7903	-2193
Total general	30140	-1070

Autores – Adaptado de la Agência Nacional do Petróleo, Gas y Biocombustíveis (2021)



De acuerdo con las cifras de la tabla 2, podemos considerar la posibilidad de utilizar casi la mitad de los 30 mil pozos perforados en Brasil para fines de almacenamiento, lo que representa una gran oportunidad para aplicaciones de intervención y reingeniería.

Tabla 3 – Estado, cantidad y profundidad de los pozos de tierra perforados en Brasil

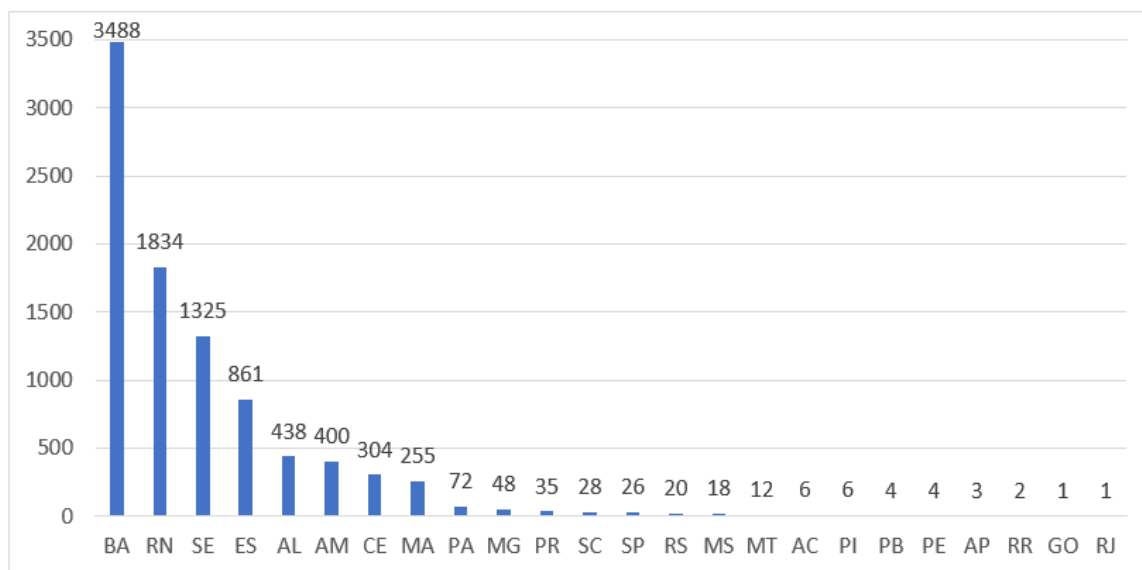
Clasificación	Número de pozos	Profundidad media medida (metros)
Abandonado	6973	1300
Devastado	2218	1351
Evaluación	5675	1186
En uso	8418	1102
Total general	23284	1179

Autores – Adaptado de la Agência Nacional do Petróleo, Gas y Biocombustíveis (2021)

Como ilustración del volumen potencial disponible, los pozos generalmente se perforan en diámetros que van desde 5 pulgadas hasta más de 28 pulgadas, y como se observa en el Gráfico 4, los pozos tienen aproximadamente 1300 metros de profundidad, y aunque se supone que todo el pozo tiene 5 pulgadas o 0.127 metros (THOMAS, 2001).



Gráfico 4 – Número de Pozos de Tierra en condición de abandono o devastados



Fuente: Autores – Adaptado de la Agência Nacional do Petróleo, Gas y Biocombustibles (2021)

Así, un mínimo de 16m³ de volumen, además del volumen del yacimiento, que como vemos en la Figura 9, en el peor de los casos produce 34 barriles de petróleo al día o 5,4 metros cúbicos al día, casi 2000m³ al año, producción que se extiende a lo largo de los años, que respecto de los 9000 pozos en condiciones de abandono o devastación, en tierra, sería un volumen mínimo de 17.739.000 metros³ de almacenamiento por año, sin tener en cuenta aspectos de presurización (énfasis del autor).

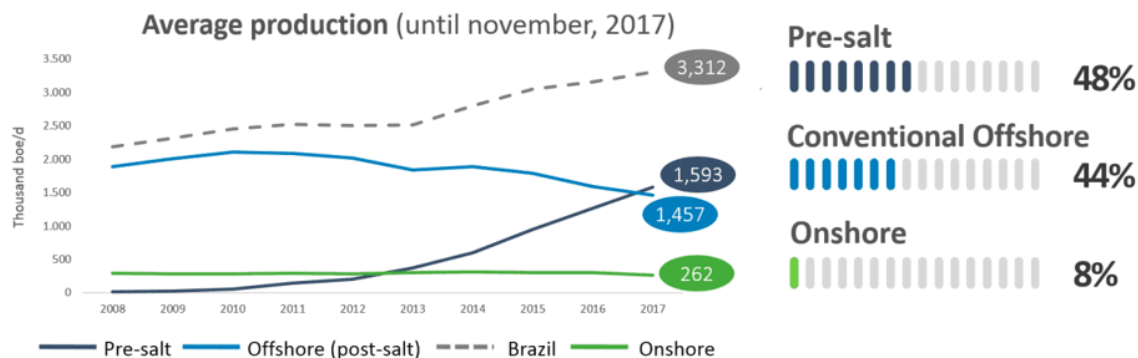
Figura 9 – Número de pozos y producción en diferentes ambientes



Fuente: CBIE (2019)

El Gráfico 5 demuestra cómo este desarrollo de la producción en miles de barriles de petróleo por día en diferentes tipos de campos se viene desarrollando en Brasil.

Gráfico 5 – Produção media em diferentes entornos



Fuente: Agencia Nacional do Petróleo, Gas y Biocombustibles (2021)

3.2 REINGENIERÍA DE DESINGENIERÍA

Como ya se mencionó, la Desingeniería es un proceso común al final del ciclo de vida de una empresa, cuando ya no es económicamente viable reformar una planta industrial, o proceder a la producción de un pozo petrolero. Algunas de estas estructuras acaban abandonadas y sin uso ni valor futuro, ya que la

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



inversión se ha amortizado por completo, y en algunos casos incluso generando costes de tratamiento antes del desmantelamiento. Las estructuras abandonadas incorrectamente pueden generar contaminación del suelo o de las aguas subterráneas a largo plazo por la descomposición de contenedores o barreras (SÁNCHEZ, 2001).

La reingeniería, que conceptualmente como algo a rediseñar o reformar drásticamente, viene precisamente a dar mayor valor a estructuras que ya están depreciadas o que no son económicamente viables para operar e incluso pueden ser un pasivo o generar costos y riesgos, siendo de esta manera, una oportunidad de recuperación de capital para los inversionistas y, no un mero costo, sino de componer el costo esperado con el proyecto a lo largo de su ciclo, especialmente en embalses que pueden tener mucho uso (GOMES *et al*, 2005; SÁNCHEZ, 2001).

3.3 RECICLAJE Y DESCONTAMINACIÓN DE MATERIAL METÁLICO

Una de las razones más obvias para reciclar material metálico es la reducción del consumo de energía, además de preservar las reservas de recursos finitos y un menor impacto ambiental en la exploración. También es importante señalar que hay materiales que son raros en la naturaleza y que el reciclaje puede ser una fuente de recursos más voluminosa o más simple que la propia naturaleza. En Alemania, por ejemplo, existen sensores que detectan la presencia de metales no ferrosos en el proceso de reciclaje. Estos procesos de reciclaje pueden conducir a una reducción en el consumo de energía de hasta un 88%, el consumo de electricidad hasta un 35% y el consumo de agua hasta un 87%, dependiendo de la técnica utilizada (VISSER, 2014). La Figura 10 muestra un ejemplo de una instalación real en superficie de un pozo de tierra en producción.



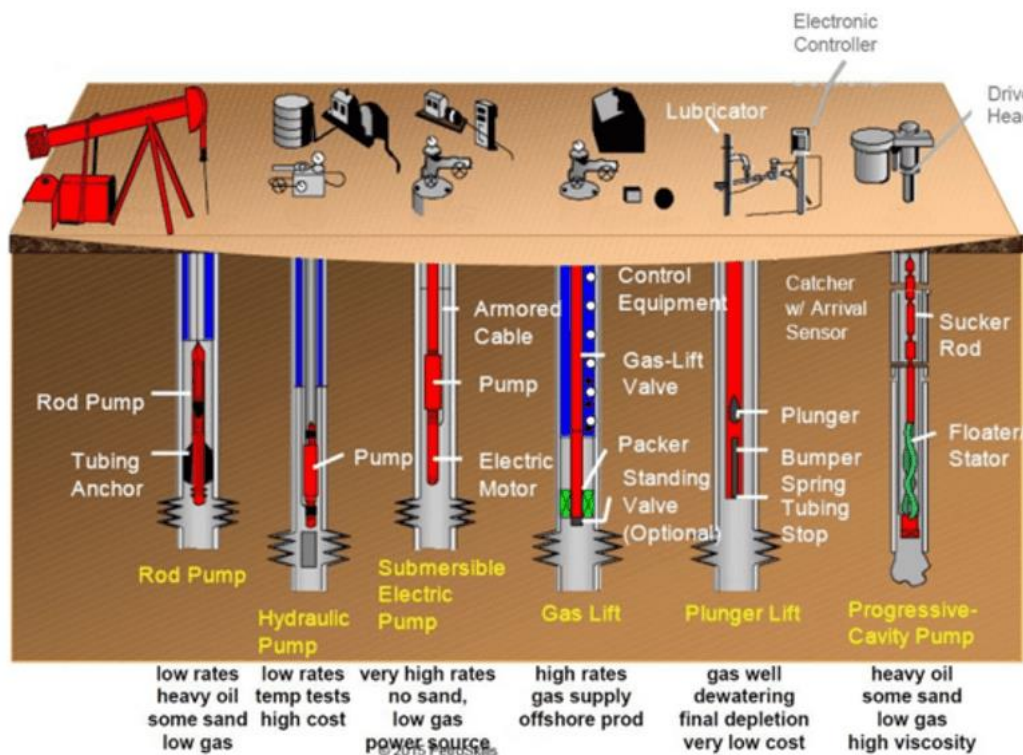
Figura 10 – Aspecto de um poço em produção



Fuente: Actis (2012)

En la figura 11 es posible observar los diferentes tipos de posibles sistemas aparentes en la superficie y el subsuelo que luego pueden ser removidos para su descontaminación y reciclaje (PETROSKILLS, 2017).

Figura 11 – Diferentes tipos de pozos terminados



Fuente: Petroskills (2017)

Muchos de estos materiales pueden requerir una limpieza especializada debido a la posibilidad de contener residuos aceitosos, NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials* o Material radiactivo natural) o TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials) (LINCERADIO, 2021).

Los residuos aceitosos pueden ser limpiados y posteriormente tratados, siguiendo procesos de relleno sanitario, incineración, *landfarming*, lavado de arena contaminada (en el caso de suelos o contaminación), solidificación y coprocesamiento (GOVERNO DE SÃO PAULO, 2021). El retorno de estos residuos a pozos o reservorios de petróleo en condiciones controladas también puede ser considerado como el alcance de este trabajo.



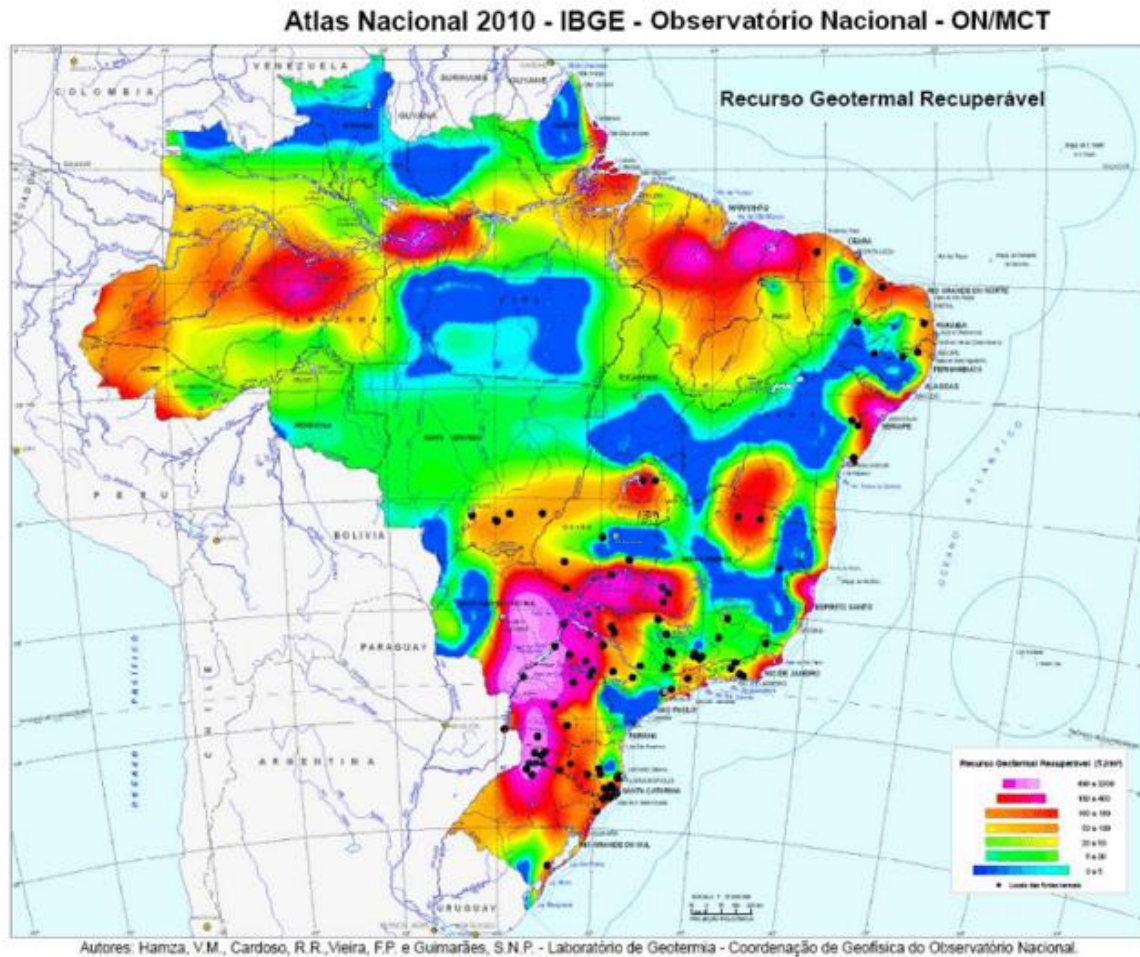
NORM está presente en la naturaleza en diferentes rocas o minerales, generalmente tienen tasas de emisión radiativa muy bajas y también bajo impacto en las personas, pero algunos procesos como la producción de petróleo, además de otras actividades antropogénicas, pueden conducir a la acumulación de materiales que contienen NORM, aumentando su concentración y, por lo tanto, aumentando el potencial de afectar a las personas que pueden estar expuestas, por lo que es importante que los materiales que hayan acumulado NORM sean descontaminados antes de ser devueltos a la naturaleza. Dentro del proceso de descontaminación podemos incluir la dilución o extracción química, extracción mecánica (utilizando cepillos, por ejemplo) o por chorro de agua, y posteriormente este material contaminado puede ser enviado a destino final según el plan de residuos radiactivos de la instalación (LINCERADIO, 2021).

3.4 USO DEL POZO COMO FUENTE DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

Como su nombre lo indica, el yacimiento de petróleo y gas es un yacimiento que, al final de su vida útil, puede adaptarse fácilmente para el almacenamiento de otros materiales, o incluso aprovechar su potencial geotérmico, dependiendo de la región donde se encuentre perforado, para generar electricidad o agua caliente, ya sea mediante vapor, utilizando turbinas u otras tecnologías que puedan aprovechar el calor ya proveniente de la formación y con una menor huella de carbono para complementar el poder calorífico del fluido para generar vapor y en consecuencia más electricidad, o incluso, utilizando generadores termoeléctricos, efecto *seebeck*.

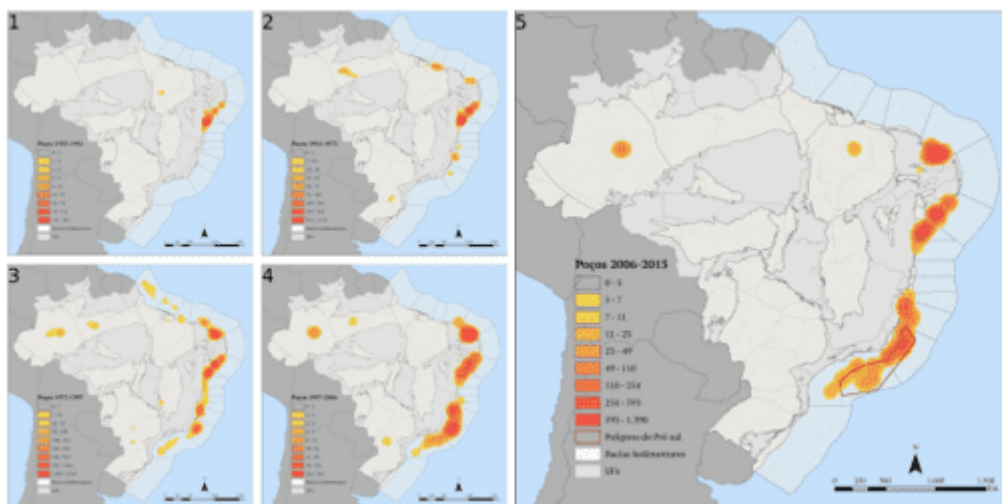
La Figura 12 puede utilizarse para comparar las regiones donde se perforaron pozos (12b) con el potencial geotérmico de cada área (12a), determinando así las mejores regiones para el aprovechamiento de las estructuras existentes (DUARTE y CATAIA, 2019; SWAROWSKI ARBOIT, *et al.*, 2013).

Figura 12a – Zonas de temperaturas más altas en Brasil



Fuente: Duarte y Cataia (2019)

Figura 12b – Áreas donde hay pozos perforados



Fuentes: Swarowski Arboit, et al., (2013)

En la Figura 13 hay una aplicación geotérmica donde la temperatura del pozo o reservorio no es suficiente para generar vapor, sin embargo, es suficiente para intercambiar calor con el medio ambiente y ayudar en la calefacción residencial.

Figura 13 – Modelo de pozo geotérmico para calefacción doméstica o industrial

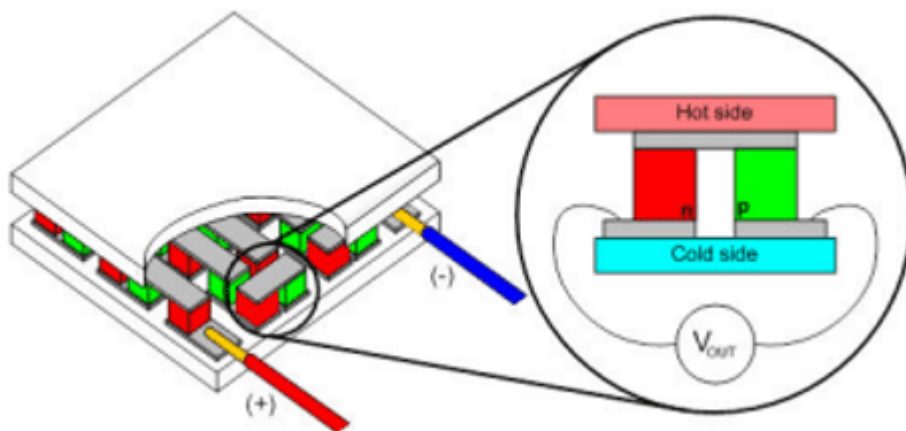


Fuente: Electro Enersol (2011)

El efecto seebeck ocurre cuando se aplica un gradiente de temperatura en un circuito con diferentes conductores, lo que genera electricidad (ZHOU, *et al.*, 2021).

La Figura 14 demuestra cómo funciona una placa de sistema Seebeck-Peltier (SILVA, *et al.*, 2013).

Figura 14 – Placa utilizada para la generación de energía según el efecto Seebeck-Peltier

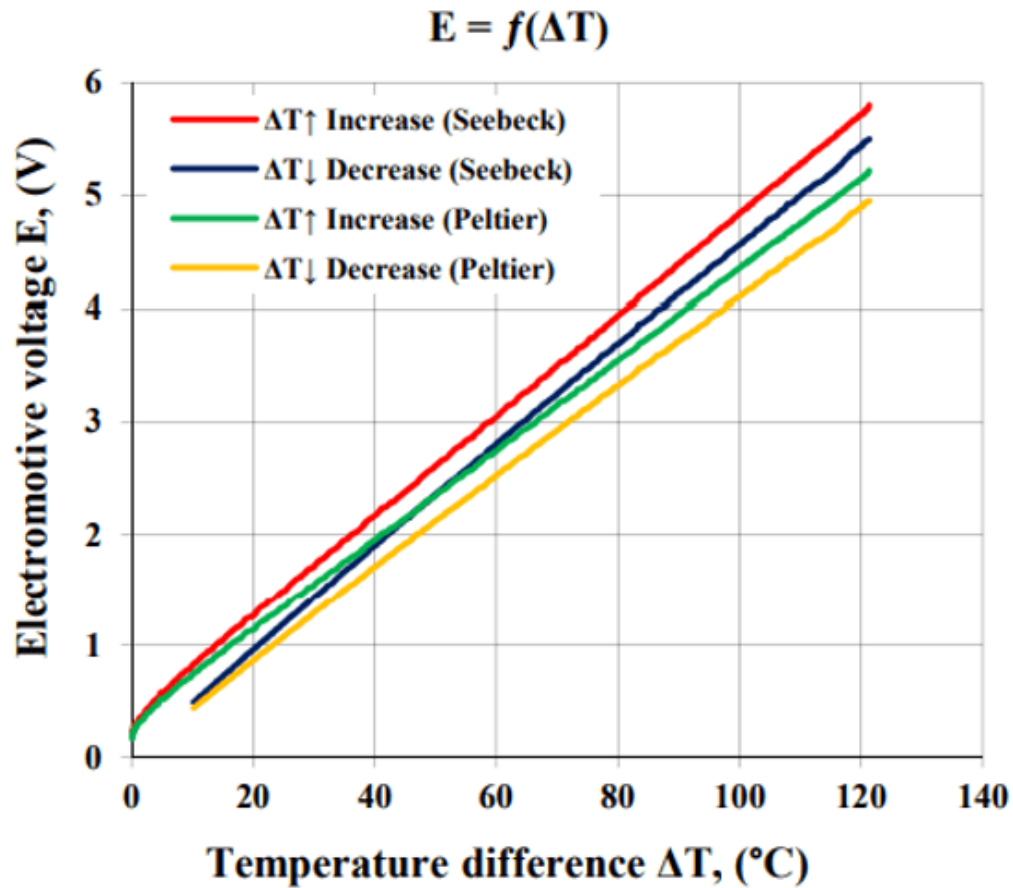


Fuente: Silva et al., (2013)

Los gráficos 6, 7 y 8 demuestran el potencial de voltaje y corriente que se puede alcanzar con un módulo Seebeck-Peltier de 1 cm² (IVANOV et al., 2021).



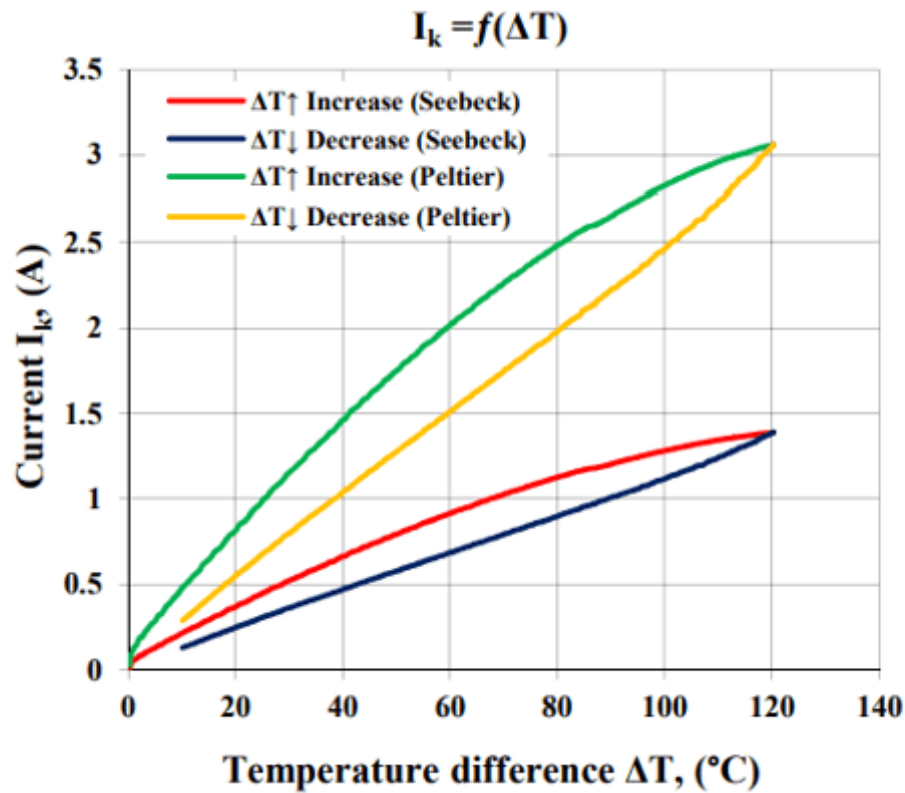
Gráficos 6 – Curvas de tensão y corriente con un módulo Seebeck-Peltier de 1 cm²



Fuente: Ivanov et al., (2021)

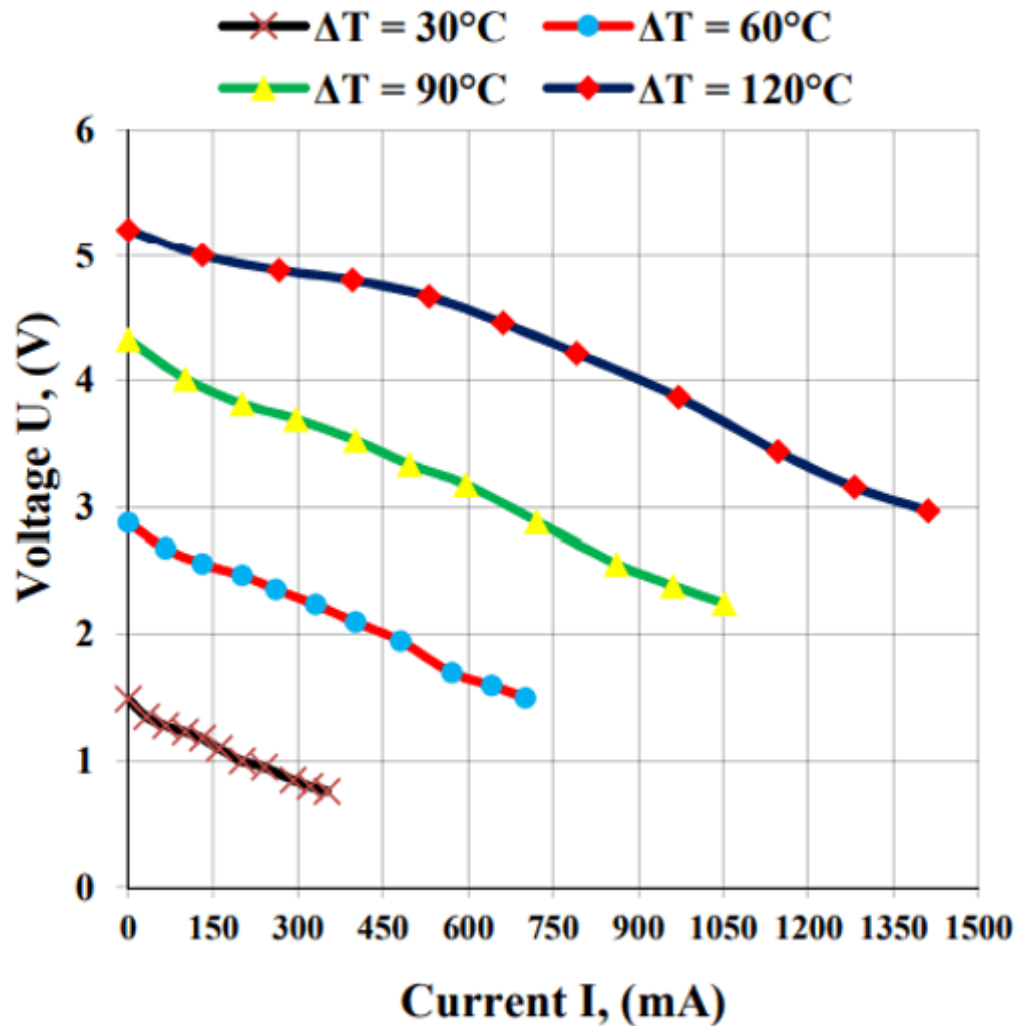


Gráficos 7a – Curvas de tensão y corriente con un módulo Seebeck-Peltier de 1 cm²



Fuente: Ivanov et al., (2021)

Gráficos 7b – Curvas de tensão y corriente con un módulo Seebeck-Peltier de 1 cm²



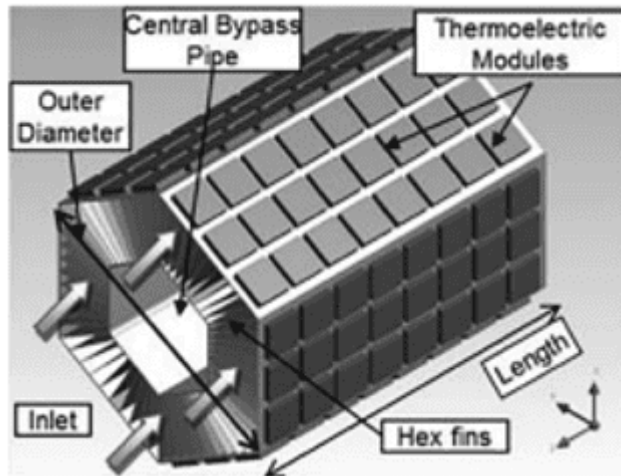
Fuente: Ivanov et al., (2021)

Una configuración para aumentar la recuperación de energía utilizando el efecto Seebeck es por serie de módulos, como se propone en las figuras 15 a y b, lo que multiplicaría el efecto de potencia observado en las gráficas 6, 7 y 8 (SHEN; TIAN; LIU, 2019).

RC: 121941

Disponble: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>

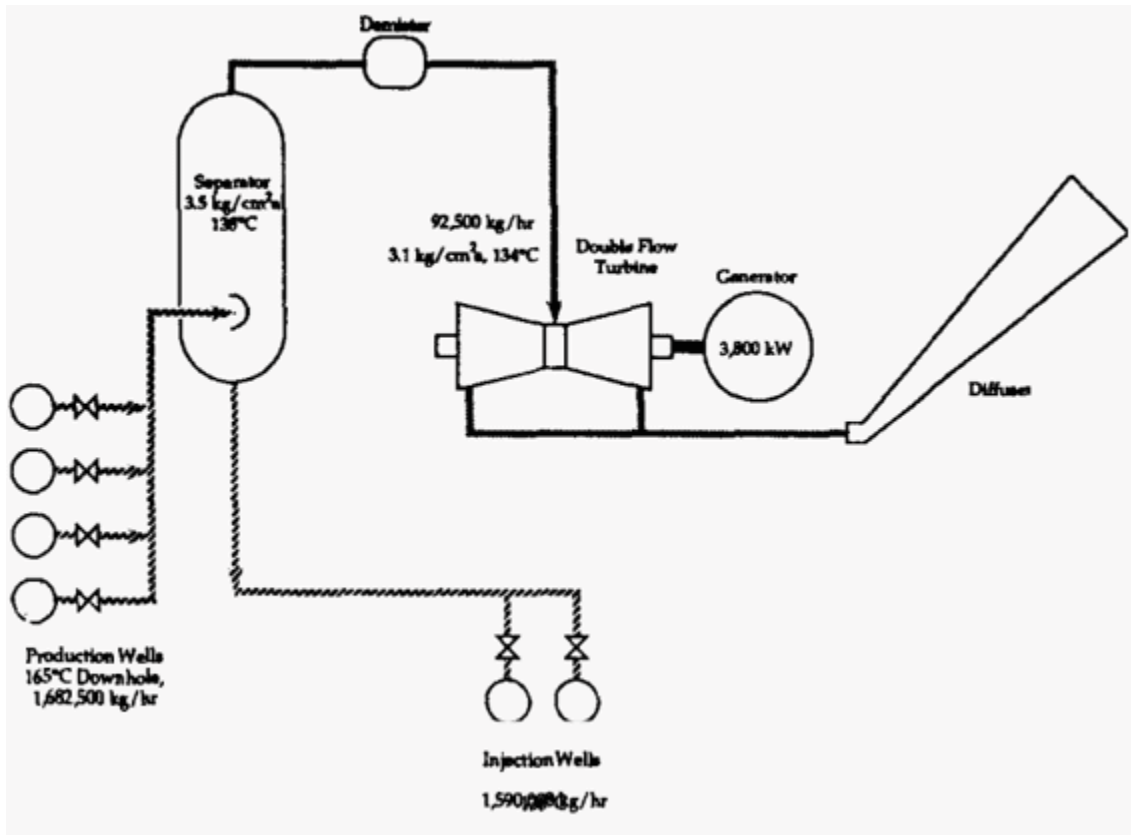
Figura 15a – Configuração para obter potencia óptima para módulos Seebeck-Peltier



Fuente: Shen; Tian y Liu (2019)

La Figura 16 demuestra el funcionamiento de turbinas con vapor de pozos que tienen una temperatura superior a 177°C (SHULMAN, 1995).

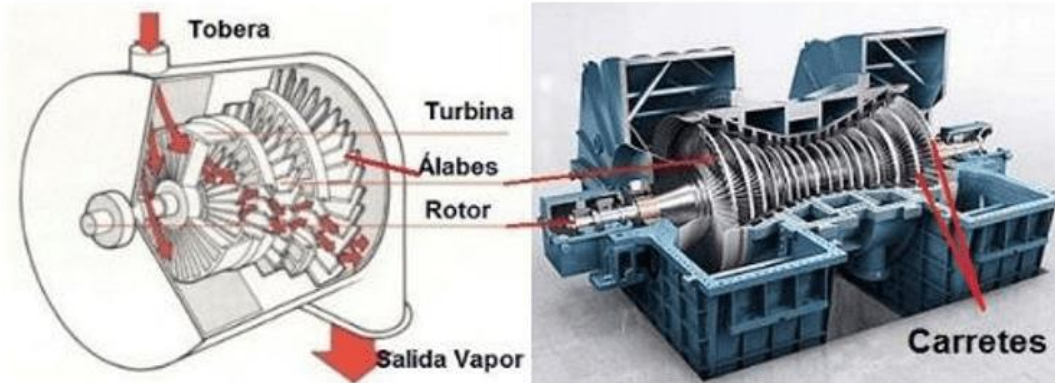
Figura 16 – Circuito de generación de vapor y alimentación de turbinas a través de pozos geotérmicos



Fuente: Shulman (1995)

La figura 17 demuestra el funcionamiento de una turbina de vapor, donde la entrada de vapor se realiza a través de la tubería, pasando por diferentes etapas con las paletas, aprovechando la dilatación térmica del gas, para maximizar el giro de la turbina y consecuentemente más generación de energía (AREATECNOLOGIA, 2021).

Figura 17 – Ilustración de una turbina de vapor



Fuente: Areatechnology (2021)

En algunos casos, se puede aprovechar el potencial geotérmico de un embalse o pozo para elevar la temperatura hasta un determinado valor, utilizando biomasa o biogás como combustible de forma más eficiente, reduciendo así la huella de carbono.

3.5 USO DEL RESERVORIO PARA EL ALMACENAMIENTO DE METANO Y CO₂

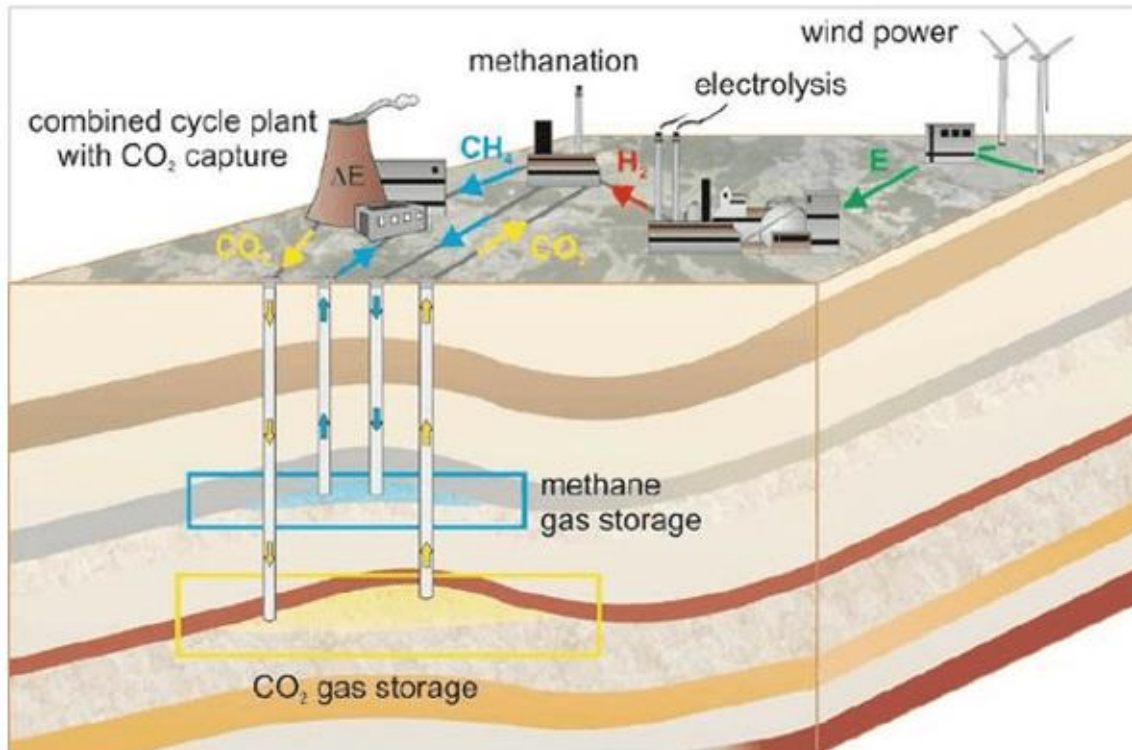
Explorando su uso como reservorio, teniendo en cuenta la estanqueidad, la estructura y el volumen disponible, algunas opciones para su uso podrían ser el almacenamiento permanente de materiales como el dióxido de carbono (CO₂) (DW PLANET A, 2021), agua de producción (agua que es producido durante la producción de petróleo que es muy duro, y que no siempre es fácil de desechar) (ROSA, 2006). Otra opción sería para el destino de otros productos que presentan riesgos para la salud, como el fin del ciclo del combustible nuclear (SORENSEN, 2019).

En la figura 18 se puede ver un sistema adaptado para almacenamiento.

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>

Figura 18 – Ilustración del subsuelo para inyección de CO₂ para almacenamiento permanente



Fuente: Kuhn et al, 2014.

Los depósitos de petróleo también podrían usarse para almacenar biogás comprimido. Compresores centrífugos multietapa (MODEKURTI, et al., 2017), ya que estos se consideran esenciales para el proceso de almacenamiento de gases en reservorios (ROSA, 2006) o, transporte por tubería, para permitir su permeabilidad dentro de la formación rocosa en la etapa supercrítica (MODEKURTI, et al., 2017).

3.6 USO DEL POZO PARA EL ALMACENAMIENTO DE RELAVES

El almacenamiento de materiales peligrosos, como destino final, depende mucho de análisis más detallados de la estabilidad geológica de la región para evitar

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



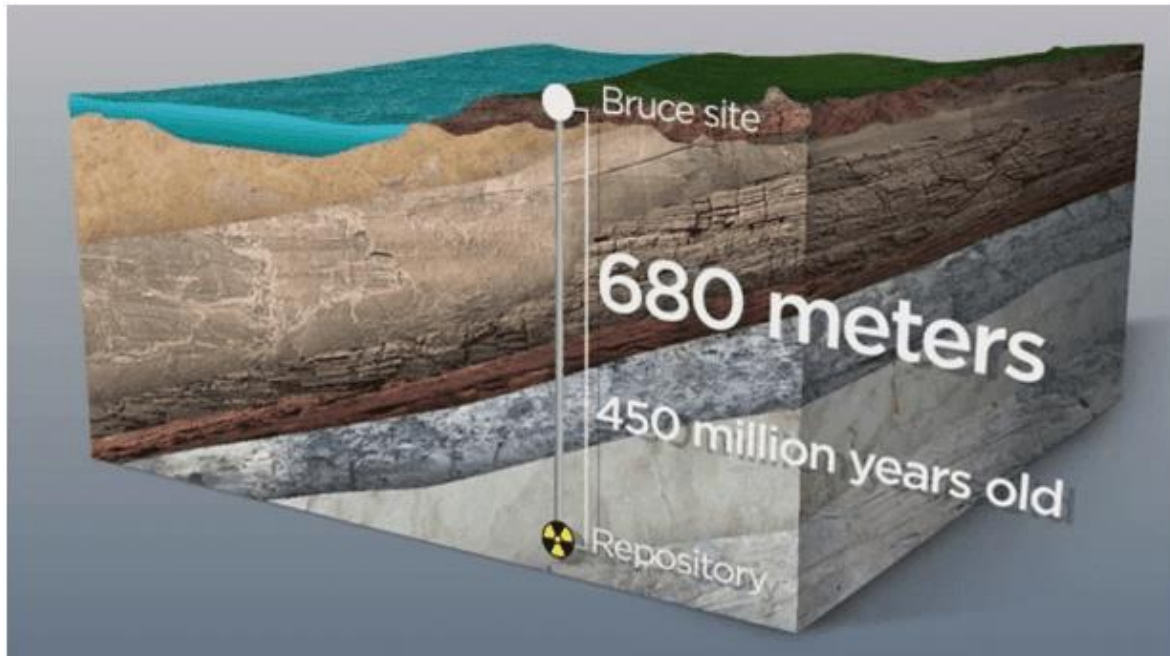
fugas y riesgos de contaminación de aguas subterráneas u otras formaciones. Como se describió anteriormente, puede suceder que los materiales vayan a rellenos sanitarios o regiones superficiales que terminen ocupando áreas que podrían tener otro tipo de uso, impactando también el valor de la región (SÃO PAULO, 2021).

El combustible nuclear también acaba siendo un problema para la industria energética, ya que este subproducto aún mantiene niveles de radiactividad durante unos cientos de años (US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2020). Algunos países están invirtiendo fuertemente en la creación de cuevas para su almacenamiento como solución definitiva, sin embargo, los pozos exploratorios agotados o secos podrían ser buenas estructuras para el almacenamiento permanente de estos materiales (FINLÂNDIA, 2021), respetando reglas que aún deben crearse. La Energía Nuclear es una energía que no emite CO₂, favorece una lectura más positiva y sostenible, teniendo un gran potencial para ayudar en el crecimiento de la demanda energética (US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2020).

La Figura 19 ejemplifica una opción para almacenar permanentemente material radiactivo empobrecido para su propósito original (FINLÂNDIA, 2021). Según Bracke *et al.*, (2017), dos alternativas de almacenamiento que cumplirían con el principio de barreras múltiples serían: la profundización de los pozos y el encapsulado previo del material.



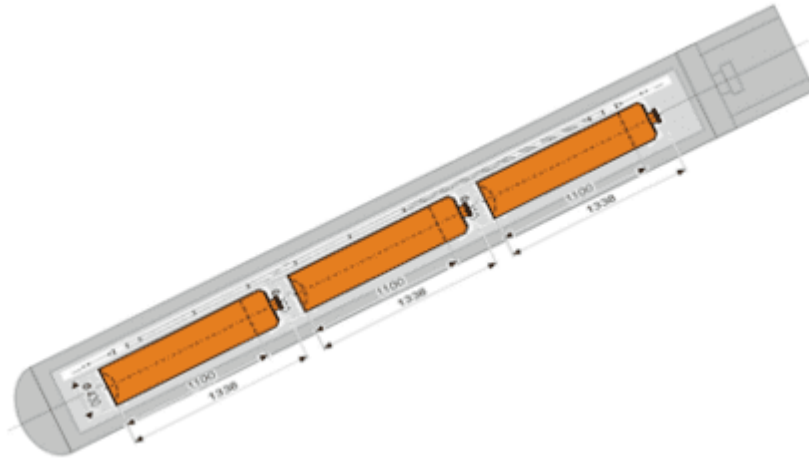
Figura 19 – Ilustração do subsolo para o armazenamento potencial de material radioativo empobrecido



Fuente: Sorensen (2019)



Figura 20 – Módulo contenedor para almacenamiento de materiales peligrosos



Fuente: Bracke (2017)

En el caso Finlandês, “el combustible gastado se colocará dentro de un panel de abejas de acero fundido con grafito (derecha) contenido en un bidón de cobre (izquierda)”.

Figura 21 – Ilustración de un módulo para el almacenamiento subterráneo de material radiactivo empobrecido

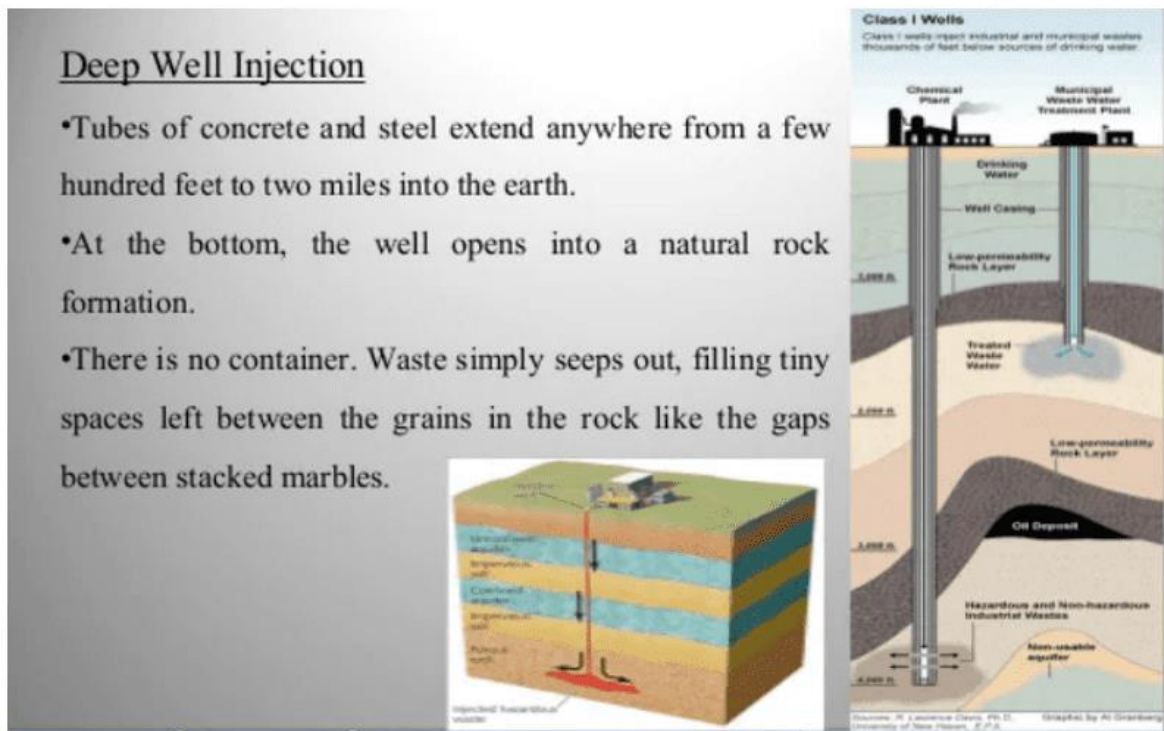


Fuente: Finlandia, 2021.

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>

Figura 22 – Ilustración de la cementación del material en el subsuelo



Fuente: Smith (2018).

3.7 USO DE DEPÓSITOS PARA EL ALMACENAMIENTO DE AMONÍACO O HIDRÓGENO

El almacenamiento de otros materiales, como Amonio o Hidrógeno, es señalado por *Sandia National Laboratories* (2011) como una opción viable para el aprovechamiento de pozos agotados.

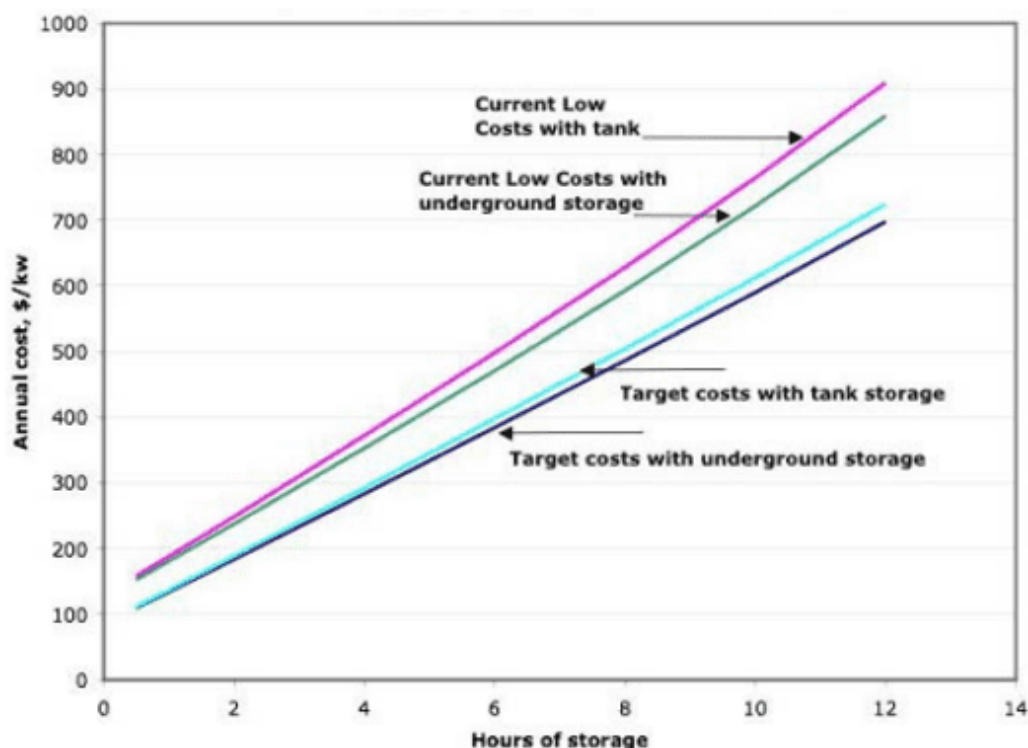
El costo del almacenamiento subterráneo a gran escala es una solución más económica que otras soluciones, ya que uno de los problemas del Hidrógeno es la degradación que se produce en los tanques y la necesidad de tanques que necesitan grandes capacidades de presión y alta resistencia a la degradación/corrosión.

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>

En el gráfico 9 se muestra una comparación entre el costo de almacenar hidrógeno en tanques (*tank*) o bajo tierra (*underground*) en un periodo de 1 año (SANDIA NATIONAL LABORATORIES, 2011).

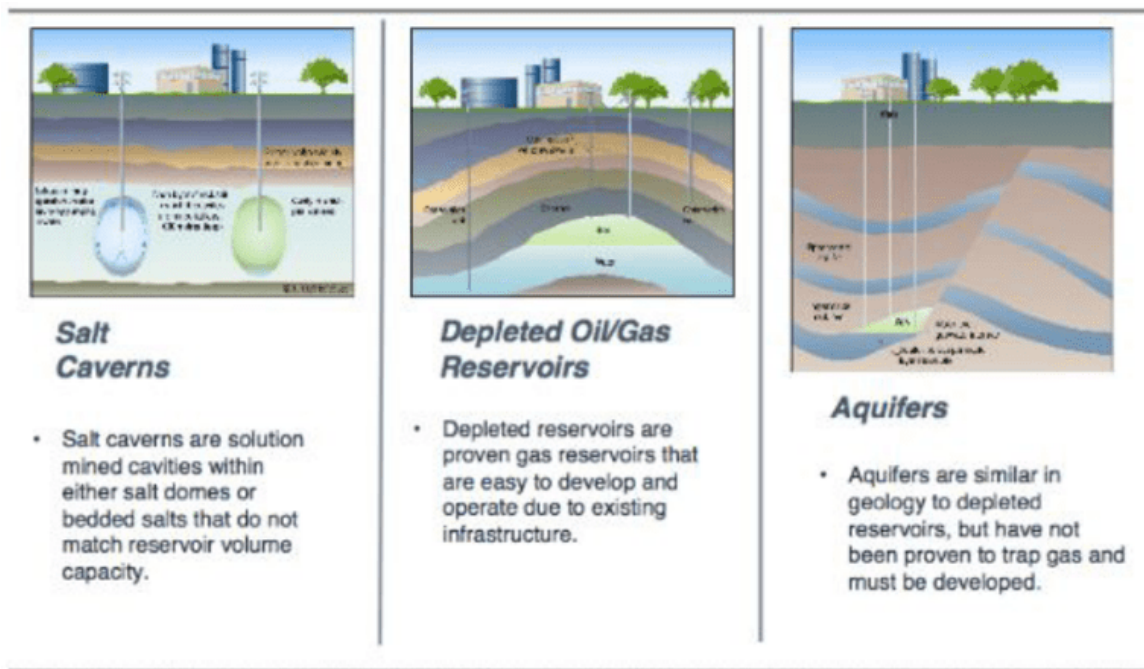
Gráfico 9 – Comparación de costos de almacenamiento de hidrógeno en diferentes opciones.



Fuente: Sandia National Laboratories (2011).

La Figura 23 muestra algunas opciones de almacenamiento propuestas por el estudio, incluyendo el caso de estudio de este trabajo, demostrando los reservorios agotados con infraestructura lista (SANDIA NATIONAL LABORATORIES, 2011).

Figura 23 – Diferentes opções para el almacenamiento de hidrógeno



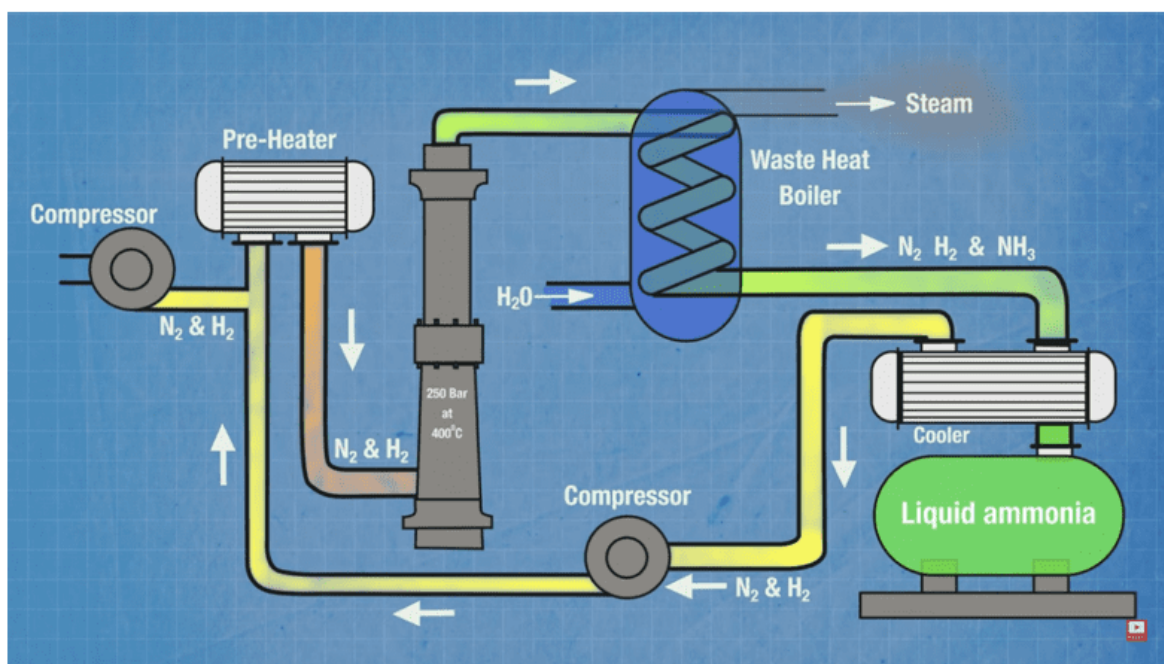
Fuente: Sandia National Laboratories (2011).

El amoníaco se produce a gran escala mediante el proceso conocido como *Haber-Bosch*, un proceso que produce amoníaco muy rápidamente, pero con altas tasas de emisiones de CO₂. Este proceso combina Hidrógeno con Nitrógeno comprimido a 250 bar y temperaturas de hasta 400 grados centígrados. El proceso utiliza nitrógeno e hidrógeno separados de sus fuentes naturales, a pesar de la posibilidad de que la producción de hidrógeno por electrólisis sea la más sencilla y conocida.

A escala industrial, el proceso más utilizado es la reforma de metano, que es el bombardeo de gas natural o metano con vapor a alta temperatura y presión para separar el carbono y el hidrógeno (BORLACE, 2020), que en ausencia de captura y secuestro de carbono (CCS) (TOTAL, 2018), pueden ser liberados a la naturaleza, lo que hoy representa el 1% del CO₂ emitido en la naturaleza. El

nitrógeno se obtiene por licuefacción fraccionada o destilación fraccionada (LOPES DIAS, 2021).

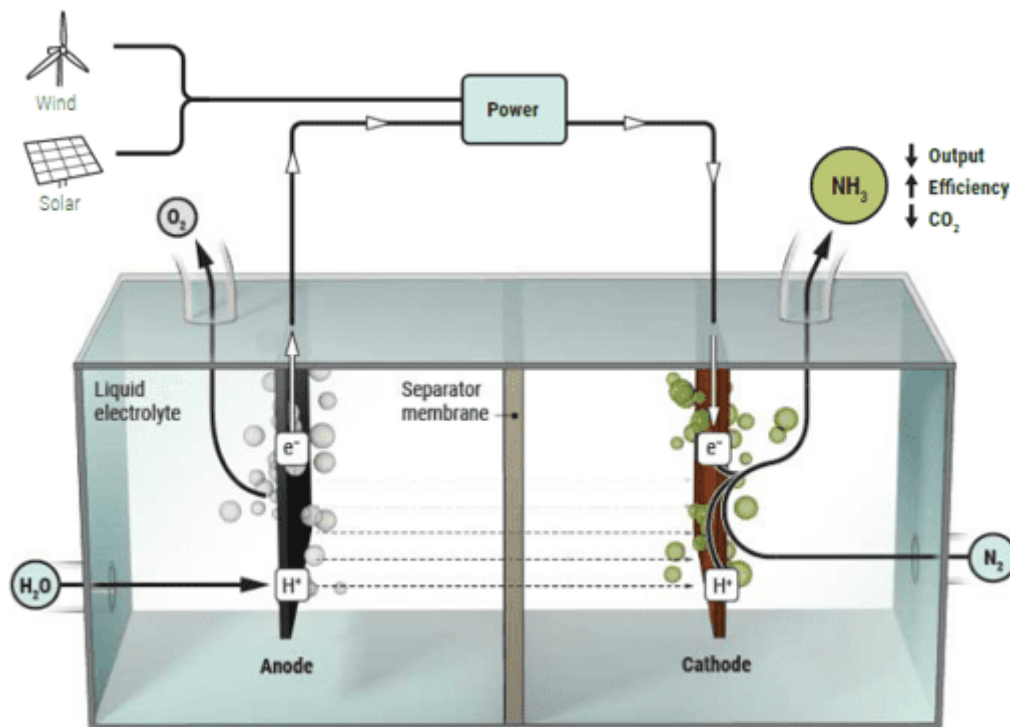
Figura 24 – Processo de produção de amoníaco Haber-Bosch



Fuente: Borlace (2020).

La electrólisis del agua es una alternativa más sostenible para la generación de hidrógeno. A través de la electricidad verde también es posible producir amoníaco de una manera más sostenible, la Figura 25 demuestra un modelo más simple y ecológico para producir amoníaco (F.SERVICE, 2018).

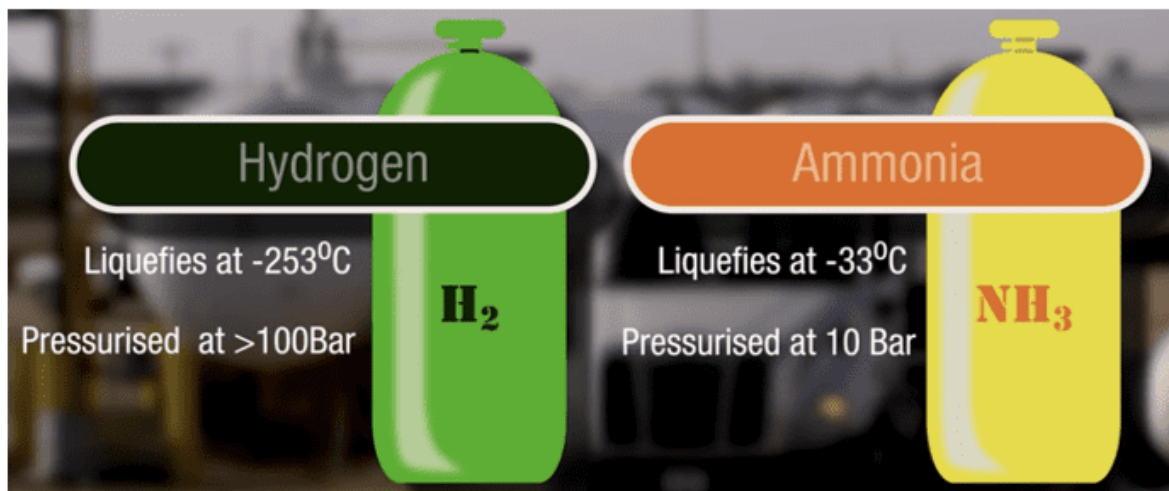
Figura 25 – Produção de Amoníaco Verde, a través de celda de combustible



Fuente: F. Service (2018).

De la misma forma que se puede almacenar hidrógeno bajo tierra, también es posible almacenar amoníaco. El hidrógeno necesita temperaturas de -253°C para licuarse y tanques presurizados para su transporte, mientras que el Amoníaco se licua a -10°C , como se ve en la Figura 26, lo que facilita el transporte y almacenamiento del Amoníaco (F. SERVICE, 2018; BORLACE, 2020).

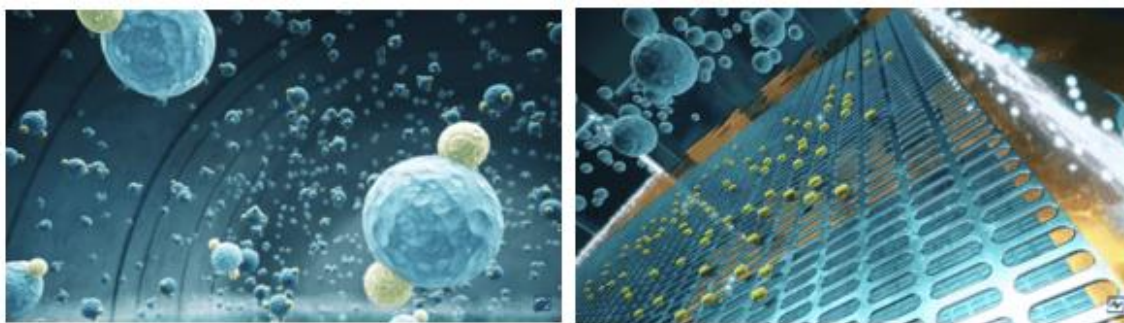
Figura 26 – Comparación de hidrógeno con amoníaco para fines de transporte



Fuente: Borlace (2020).

El amoníaco se convierte en hidrógeno mediante el uso de pilas de combustible sin necesidad de utilizar fuentes de energía externas. El Gas fluye a través de catalizadores donde se lleva a cabo la separación de Hidrógeno y Nitrógeno, el cual es liberado a la atmósfera, luego el hidrógeno es utilizado en celdas de combustible que liberan electrones, produciendo electricidad, al combinarse con el oxígeno (GENCELL, Ltd, 2019).

Figura 27 – Ilustración del proceso molecular de producción de energía a través del amoníaco



Fuente: GenCell Ltd (2019).

RC: 121941

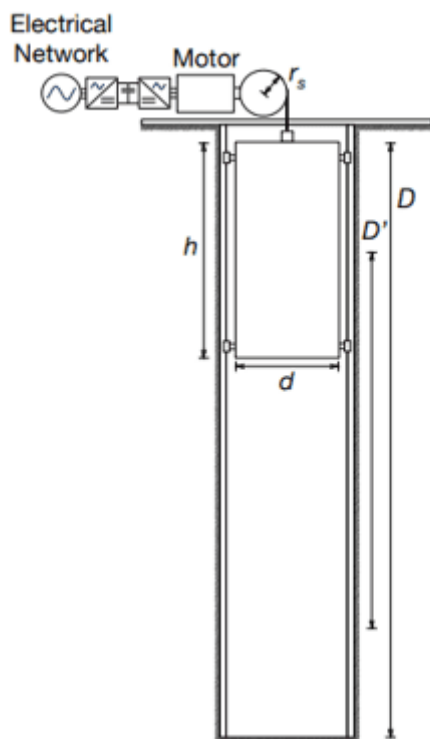
Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>

Sabiendo que un volumen de 58.905m^3 tiene potencial para almacenar 150 GWh de energía en base al volumen del yacimiento empírico mencionado $17.739.000\text{ metros}^3$, un yacimiento con pozo agotado, puede almacenar 45.172GWh de energía (INTERNATIONAL AGENCY, 2019).

3.8 USO DE ESTRUCTURA DE POZO PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POTENCIAL

La gravedad es una forma de almacenar energía mediante el uso de pesos que se pueden suspender para almacenar energía potencial y bajar para generar energía (MORSTYN *et al.*, 2019).

Figura 28 – Ilustración del proceso de producción de energía por gravedad en pozos



Fuente: Morstyn *et al.*, (2019).

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



Es posible estimar la capacidad energética a almacenar según la siguiente ecuación (MORSTYN et al., 2019):

$$E = \eta m g D'$$

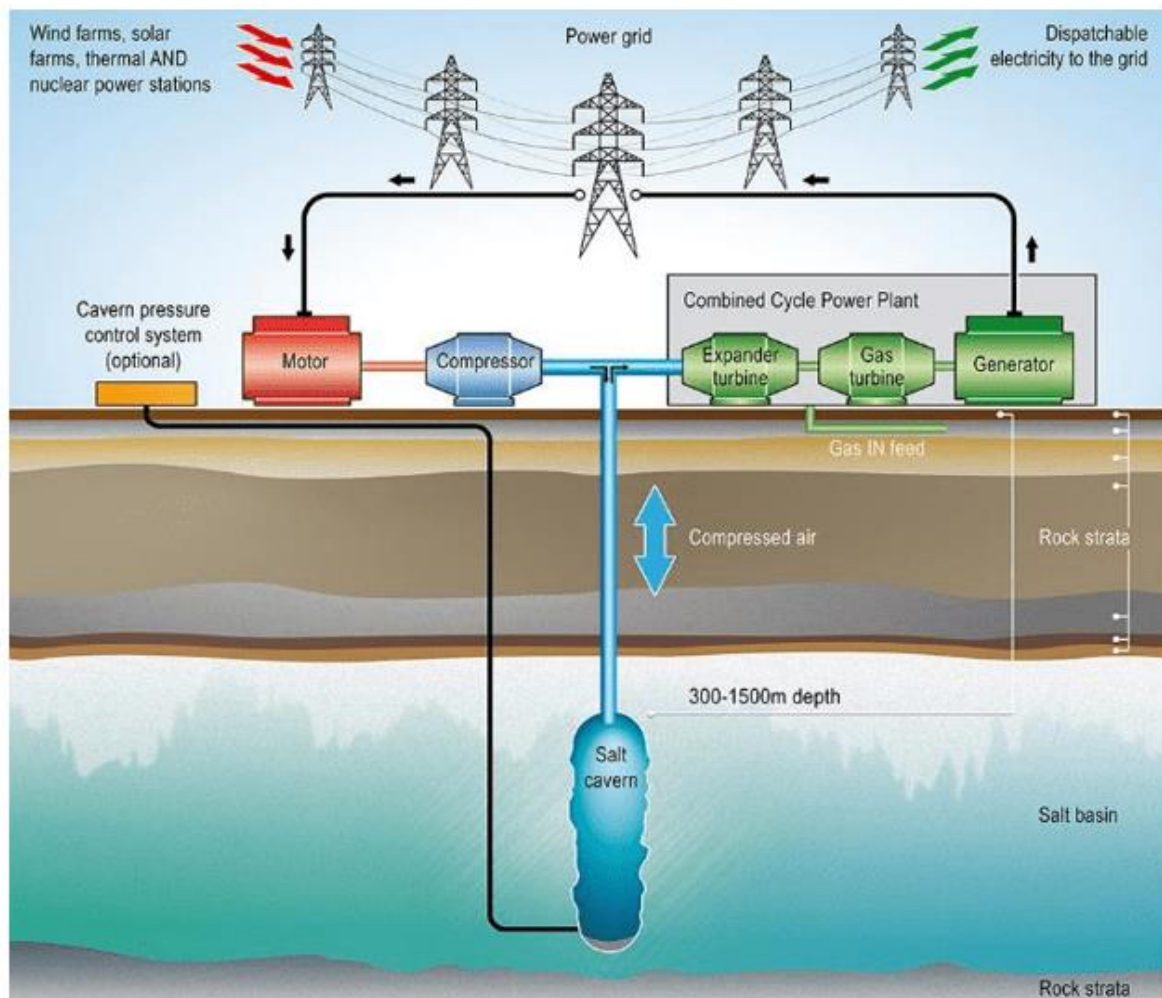
Donde la eficiencia (η) del sistema se considere del 80% (MORSTYN et al., 2019), m la masa se considerará de 5 toneladas (carga de plomo de 5" de diámetro, del pozo empírico previamente acordado, de 35 metros de altura – densidad de 11340 kg/m^3), g es la fuerza de atracción de la tierra, aproximadamente 10 m/s^2 , y D' es la profundidad útil del pozo, aquí 1km, lo que resulta en 39.2 MJ o 11kWh.

La velocidad de descarga del sistema se puede controlar de acuerdo a la demanda, por supuesto también se puede adaptar el sistema para almacenar diferentes cargas en el fondo del pozo, lo que permitiría almacenar más energía, además de trabajar con cargas de mayor tamaño diámetros y dimensiones dependiendo de la necesidad (GRAVITRICITY, 2020), los pozos petroleros existentes pueden aumentar su diámetro o profundizarse con el uso de escariadores (THOMAS, 2001).

3.9 ALMACENAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO EN EL DEPÓSITO

Considerando que el reservorio tiene un gran volumen, otra forma de acumular y reutilizar la energía del reservorio sería a través de la presurización del aire, con el uso de compresores en serie de aire comprimido, donde su liberación para la producción de energía eléctrica sería ser a través de turbinas en tiempos de necesidad, también conocido como CAES – *Compressed Air Energy Storage* (MENÉNDEZ; LORETO, 2019), como se muestra en la Figura 29.

Figura 29 – Ilustración de almacenamiento de energía a través de aire comprimido



Fuente: Storelectric (2021).

En la Tabla 4 se muestra una comparación del almacenamiento de aire en diferentes minas de carbón con algunos volúmenes conocidos (MENÉNDEZ; LORETO, 2019), y, aunque aún faltan estudios para comprobar el uso en yacimientos de petróleo, la misma analogía del yacimiento empírico de 17.739.000 metros³ y teniendo en cuenta únicamente el volumen de la tabla 4, se puede estimar una capacidad mínima de almacenamiento de 3,6 GW.



Tabla 4 – Comparación de almacenamiento de aire en diferentes minas de carbón con algunos volúmenes conocidos

Plant	Huntorf	McIntosh
Cycle Efficiency	42%	54%
Energy input for 1kWhe	0.8 kWhe	0.69 kWhe
Energy content	642 MWh	2640 MWh
Compression		
Max. Electricity input	60 MW	50 MW
Max. Air mass flow rate	108 kg/s	90 kg/s
Compression units	2	4
Charging time	8h	38h
Storage		
Cavern pressure range	4.6-7.2 MPa	4.6-7.5 MPa
Cavern volume	310,000 m ³	538,000 m ³
Expansion		
Max. Electricity output	321 MW	110 MW
Control range	100-321 MW	110 MW
Discharging time	2h	26h
Max. Mass flow rate	455 kg/s	154 kg/s

Fuente: Menéndez; Loredó (2019)

Además de la oportunidad de almacenamiento de aire, también existen estudios para el almacenamiento de agua a presión para su posterior liberación de energía (POWER TECHNOLOGY, 2016).

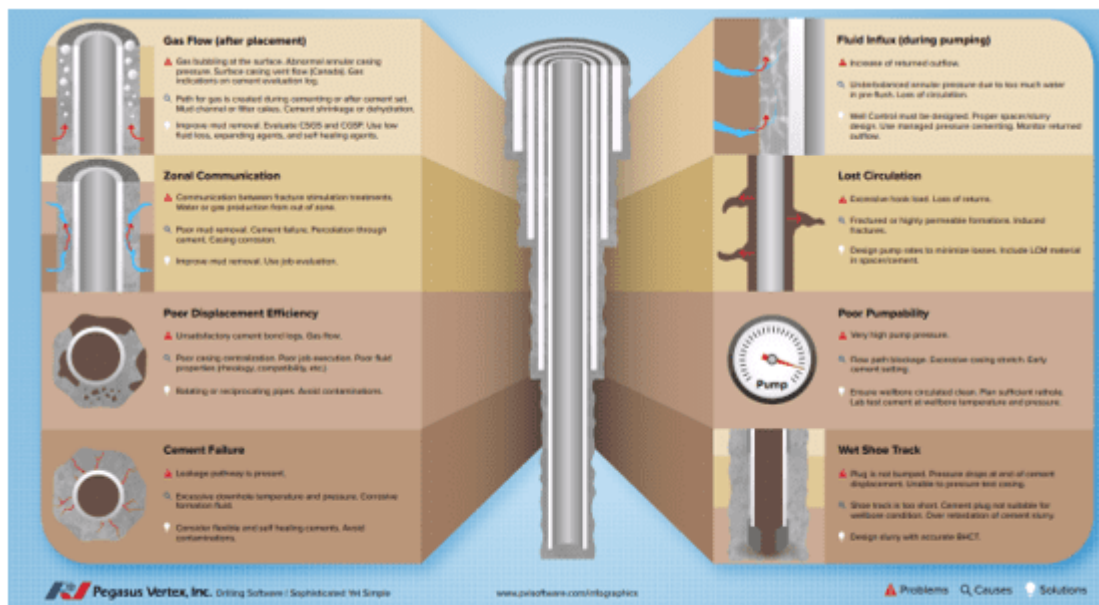
3.10 CONTROL DE ESTANQUEIDAD

Hay varias formas posibles a través de la geofísica para asegurar que las condiciones del pozo sean estables y con buen aislamiento, pero también es posible crear dinámicas de monitoreo a lo largo de la extensión del yacimiento. Entre las formas de garantizar las condiciones del pozo está el CBL (*Cement Bonding Logging*), y de las formaciones están las pruebas de presión (PEGASUS VERTEZ, Inc. 2021; THOMAS, 2001).

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>

Figura 30 – Problemas comunes en la cementación de pozos



Fuente: Pegasus Vertex, Inc., (2021)

Los pozos de petróleo se completan con revestimientos de acero cementado para garantizar el aislamiento entre las formaciones y el interior del pozo. El método CBL ya mencionado es un método indirecto utilizado para asegurar una buena calidad del cemento. En casos de defectos, es posible realizar una operación de intervención para reparar la mala cementación del pozo y, de esta forma, garantizar que la obra se haya solidificado. Hay casos en los que se pueden instalar *packers*, estructuras tubulares que se fijan a los revestimientos, de manera temporal o permanente para garantizar la estabilidad en ciertas áreas de interés (THOMAS, 2001).

Figura 31 – Sistemas de monitoreo de metano, fijos y por drones



Fuente: Baker Hughes (2021)

En cuanto al potencial de fugas en otras regiones del embalse, es posible instalar estructuras fijas, usar drones y también monitoreo satelital, como se muestra en la Figura 31 (BAKER HUGHES, 2021).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La reingeniería del desingeniería representa un potencial sostenible tanto para el medio ambiente como para la economía. La aplicación en pozos y reservorios de petróleo y gas utilizados inicialmente para la exploración de petróleo y gas tiene varias posibilidades de uso a través de este proceso.

Dependiendo de la aplicación a utilizar, puede ser necesaria una intervención y, en consecuencia, debe realizarse una inversión para preparar el pozo para su uso final. Sin embargo, los estudios han demostrado las ventajas de aprovechar una estructura totalmente construida.



La aplicación también determinará el tipo de monitoreo de emisiones potenciales que debe estructurarse para garantizar un impacto cero en el medio ambiente y, en algunos casos, es necesario desarrollar permisos especiales.

El trabajo se centró en las oportunidades de reciclaje de equipos de terminación superior, inferior y de superficie para la reutilización de acero, lo que contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ y la generación potencial de créditos de carbono para el propietario del equipo, un mercado aún por explorar en Brasil. además de la oportunidad de utilizarlo para la captura de carbono, que puede ser utilizado para almacenar el carbono generado en Brasil, o, en otros países del mundo, para almacenar energía, con ese potencial, mediante el uso de pesas, para aire comprimido, hidrógeno e incluso amoníaco. La generación de energía geotérmica también puede ser una opción dependiendo de la región geográfica donde se ubique el pozo, y finalmente el almacenamiento de relaves de diferentes fuentes, que hoy en día ocupan espacio en áreas que pueden ser utilizadas para otros fines. La Tabla 5 muestra algunas de las opciones discutidas aquí.

Tabla 5 – 5W1H de opciones para pozos no utilizados

¿Qué ?	Inyección de CO₂	Almacenamiento de hidrógeno o amoníaco	Geotermia Total o Parcial	Almacenamiento de Combustible Nuclear Empobrecido / Norma-Tenorm / Relaves	Almacenamiento de energía potencial	Aire comprimido
¿Quién	Operador	Empresa	Empresa	Plantas de	Empresas	Empresa

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



n?	de petróleo y gas, o empresa que opera sistemas de captura de carbono.	productora de hidrógeno o amoníaco	generadora de electricidad	residuos radiactivos, empresas encargadas de la disposición final de material radiactivo o descontaminación, plantas nucleares.	generadoras de energías renovables o concesionarias de energía.	generadora de electricidad
¿Cómo?	Bombeo a través de compresores	Bombeo a través de compresores	Aprovechamiento del potencial geotérmico total o parcial de una región, ya sea mediante bombeo de agua y retorno de vapor, o	Almacenamiento en cápsulas selladas y cementadas, posteriormente bajadas al pozo y finalmente cementadas en el pozo.	Uso de un sistema de pesas asociado a un motor/generador eléctrico.	Bombeo a través de compresores y posterior liberación para generación de energía



			bombeo de agua con retorno de agua calentada que luego puede tener su temperatura un poco más alta con menor uso de energía para la generación de vapor – uso de vapor en turbinas de vapor. Otra forma sería usar agua caliente			
--	--	--	---	--	--	--



			para otras aplicacion es residenciales o industriales.			
¿Dónde?	Campos agotados con buena permeabilidad y amplio reservorio.	Campos agotados con buena permeabilidad y gran reservorio cerca de regiones productoras de hidrógeno	Pozos de alta temperatura.	Pozos en regiones donde no se planean nuevas perforaciones, que no crucen napas freáticas y libres de sismos.	Pozos verticales, especialmente casos de gran diámetro.	Campos agotados o no económicamente viables con buena permeabilidad y gran reservorio.
¿Por qué?	Devolver el CO ₂ producido o como resultado de la quema de combustibles	Proximidad, utilización del espacio, reducción de costos de almacenamiento	Aprovechar el potencial geotérmico o de algunos pozos y así evitar el uso de	Aprovechar el espacio en pozos que pueden tener kilómetros de profundidad	Acumular energía potencial para liberar en tiempos de escasez	Acumular energía y liberarla en momentos de necesidad



	bles fósiles para su almacena miento permane nte en depósitos subterráñ eos.	miento	otras formas de energía para producir agua caliente.	d y así garantizar un almacena miento permanent e de material radiactivo sin representa r un riesgo para la sociedad; Mayor disponibilid ad de superficie para otros usos.		
¿Cuá ndo?	Siempre que sea necesario almacena r CO ₂ . El pozo no siempre necesita	Cuando el yacimient o termina su vida económic a y existen condicion	Al final de la producció n económic a del campo petrolero.	Al final de la vida útil del combustibl e nuclear o de los residuos radiactivos	Durante los picos en la producció n de electricida d	Durante los picos en la producció n de electricida d



	estar cerca de la región de captura, el transport e puede ser por tubería, camiones , trenes o barcos.	es para la producción de hidrógeno en las cercanías.		.		
--	--	---	--	---	--	--

Fuente: Autor

5. CONSIDERACIONES FINALES

El cese del uso del pozo petrolero, o la interrupción temporal de su uso, no debe representar el fin de su valor para la sociedad ni quedarse sin generar oportunidades, su valor económico puede ser aún mayor dependiendo del uso que se le pretenda dar y dependiendo de la aplicación, con un CAPEX pequeño y un OPEX mínimo, se pueden generar utilidades para muchos años u oportunidades para desocupar un área que antes estaba destinada a relaves, por ejemplo.

La desingeniería no debe ser el fin ni verse como una sanción al final de la depreciación del uso de una empresa o activo, sino que debe representar una oportunidad para hacer más negocios a través de la reingeniería.

RC: 121941

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



REFERENCIAS

ACTIS, A. *O método Gás- Lift*. Disponível em: **Campos Marginais de Petróleo**: <<<http://camposmarginais.blogspot.com/2012/03/o-metodo-gas-lift.html>>> . 2012

AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. *Resolução ANP Nº 699 DE 06/09/2017*. Disponível em: <<ANP.GOV: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http%3A%2F%2Fwww.anp.gov.br%2Fimages%2FConsultas_publicas%2FConcluidas%2F2017%2Fn_06%2FResolucao_pocos.docx&wdOrigin=BROWSELINK>>. 2017.

AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. *Opportunities in the Brazilian Oil & Gas Industry*. Fonte: Agencia Nacional do Petróleo: <<http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/Livreto_Upstream_2018-l.pdf>>. 2018

AGÊNCIA EPBR. *Monitor da Perfuração*. Disponível em: epbr: <<<https://epbr.com.br/monitor-da-perfuracao/consulta-de-pocos-perfurados>>>. 2021

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, Gás Natural e Biocombustíveis. *Acervo de dados*. Disponível em: <<gov.br: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/dados-tecnicos/acervo-de-dados>>>. 2021

AREATECNOLOGIA. *Turbina de Vapor*. Disponível em: Areatecnologia: <<<https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbina-de-vapor.html>>>. 2021

BAKER HUGHES. *Emissions management*. Disponível em: Baker Hughes: <<<https://www.bakerhughes.com/emissions-management>>>. 2021

RC: 121941

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



BORLACE, D. *Hydrogen energy storage in AMMONIA: Fantastic future or fossil fuel scam?* Disponível em: Youtube: <<https://www.youtube.com/watch?v=5Y_2Z_VwFNc>>. 2020

BraCKE, G., CHARLIER, F., LIEBSCHER, A., R. SCHILLING, F., & RÖCKEL, T. *About the Possibility of Disposal of HLRW in Deep Boreholes in Germany*. *Geosciences*, 1-17. 2017

CASTRO FARIA, M. Estrutura geológica e mineração. Disponível em: Educação Globo: <<<http://educacao.globo.com/geografia/assunto/geografia-fisica/estrutura-geologica-e-mineracao.html>>>. 2013

CBIE. O QUE SÃO OS CUSTOS DE EXTRAÇÃO DO PETRÓLEO? Disponível em: CBIE: <<<https://cbie.com.br/artigos/o-que-sao-os-custos-de-extracao-do-petroleo/>>>. 2019

CEPEMAR. Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo. Disponível em: Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo: <<https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/RIMAS/RIMAS_2005/Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20escoamento%20-%20Campo%20de%20golfinho%20ES.pdf>>. 2005

CONOCOPHILLIPS. *The Life Cycle of a Well – ConocoPhillips*. Disponível em: YouTube: <<<https://www.youtube.com/watch?v=0r4J34FEsTk>>>. 2015

CONSELHO DE PROMOÇÃO DA FINLÂNDIA. Os resíduos nucleares descansarão em paz. Disponível em: This is Finland: <<<https://finland.fi/pt/vida-amp-sociedade/os-residuos-nucleares-descansarao-em-paz/>>>. 2021

RC: 121941

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



DA SILVA, M., BARILLAS, J., & DUTRA JR., T. Estudo Paramétrico da Injeção de Polímeros em Reservatórios de Petróleo. *XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, 1-8. 2014

DUARTE, L., & CATAIA, M. Transformações espaciais da exploração e produção de petróleo no território brasileiro: a distribuição dos poços perfurados (1922-2015). *KOSMOS*, 7-10. 2019

DW Planet A. *Can carbon capture ACTUALLY work?* Disponível em: YouTube: <<<https://www.youtube.com/watch?v=JHs-eWHb16g&t=105s>>>. 2021

E. V. LOPES, A., & ASSUMPÇÃO, M. *Uma breve conversa sobre a disciplina Sísmica I – Primeira Aula*. Disponível em: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – USP: <<https://www.iag.usp.br/~marcelo/agg232info/Power%20Points%20das%20aulas/aula01-Introducao_ao_Curso.pdf>>. 2010

ELECTRO ENERSOL. *Geotermia*. Fonte: Electro Enersol: <<<https://www.electroenersol.com/?p=44>>>. 2011

F. SERVICE, R. *Ammonia—a renewable fuel made from sun, air, and water—could power the globe without carbon*. Disponível em: Science: <<<https://www.science.org/news/2018/07/ammonia-renewable-fuel-made-sun-air-and-water-could-power-globe-without-carbon>>>. 2018

GENCELL LTD. *Ammonia: The Next Big Thing in Energy Production – GenCell*. Disponível em: Youtube: <<<https://www.youtube.com/watch?v=drdDt1ski1I>>>. 2019

RC: 121941

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



GOMES, A., KOVALESKI, J., SCHMANECH TRAMONTIN, A., & SCHMANECH TRAMONTIN, A. Reengenharia: Revisando os velhos conceitos ainda atuais. *Gestão da Produção: Organização e Planejamento*, 218-225. 2005

GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF TRINIDAD AND TOBAGO. *Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)*. Disponível em: Ministry of Energy and Energy Industries: <<<https://www.energy.gov.tt/carbon-capture-utilization-and-storage-ccus/>>>. 2021

GOVERNO DE SÃO PAULO. *Tratamento e destinação*. Disponível em: CETESB: <<<https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/vazamentos-de-oleo/acoes-de-resposta/residuos-oleosos/tratamento-e-destinacao/>>>. 2021

GRAVITRICITY. *Latest Gravitricity Explainer Extended Animation Spring 2020*. Disponível em: Youtube: <<<https://www.youtube.com/watch?v=meFkbADJq28>>>. 2020

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *The Future of Hydrogen – Seizing today's opportunities*. Disponível em: IEA: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf>>. 2019

IVANOV, K., BELOVSKI, I., & ALEKSANDROV, A. Research and Analysis of the Electromotive Voltage Generated by Seebeck and Peltier Modules. *12th National Conference with International Participation "Electronica 2021"*, 1-4. 2021

JÁCOME, I. *Após um ano, petrolífera aumenta em 30% produção de campos vendidos pela Petrobras no RN*. Disponível em: G1: <<<https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2021/06/18/apos-um-ano-petrolifera-aumenta-em-30percent-producao-de-campos-vendidos-pela-petrobras-no-rn.ghtml>>>. 2021

RC: 121941

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



KÜHN, M., STREIBEL, M., NAKATEN, N., & KEMPKA, T. Integrated Underground Gas Storage of CO₂ and CH₄ to Decarbonise the “Power-to-gas-to-gas-to-power” Technology. *ScienceDirect*, 9-15. 2014

LINCERADIO. *O que é Descontaminação NORM/TENORM?* Disponível em: LINCERADIO: <<<https://linceradio.com.br/o-que-e/o-que-e-descontaminacao-norm-tenorm/>>>. 2021

LOPES DIAS, D. *Nitrogênio*. Disponível em: Brasil Escola: <<<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/nitrogenio.htm>>>. 2021

MATLAK AL-HAJERI, M., AL SAEED, M., DERKS, J., FUCHS, T., HANTSCH, T., KAUERAUF, A., PETERS, K. Basin and Petroleum Modelling. *Oilfield Review*, 14-29. 2009

MENÉNDEZ, J., & LOREDO, J. Compressed Air Energy Storage plants in abandoned underground mines: Preliminary analysis and potential. *IAPE '19*, 1-4. 2019

MODEKURTI, S., ESLICKB, J., OMELLB, B., BHATTACHARYYA, D., C. MILLERB, D., & E.ZITNEYC, S. Design, dynamic modeling, and control of a multistage CO₂ compression system. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 31-45. 2017

MORSTYN, T., CHILCOTT, M., & D. MCCULLOCH, M. Gravity Energy Storage with Suspended Weights for Abandoned Mine Shafts. *Applied Energy*, 1-7. 2019

PEGASUS VERTEX, INC. *Common Well Cementing Problems*. Disponível em: Pvisoftware: <<https://www.pvisoftware.com/infographics/Common_Well_Cementing_Problems.PDF>>. 2021

RC: 121941

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



PETROBRAS. *Plano de Desenvolvimento Aprovado Reunião de Diretoria nº 827 de 09/12/2015 Resolução nº 1001/2015*. Disponível em: Agência Nacional do Petróleo:

<<http://www.anp.gov.br/images/planos_desenvolvimento/Marlim.pdf>>. 2015

PETROSKILLS. *Introduction to Artificial Lift*. Disponível em: Petroskills: <<https://www.petroskills.com/blog/entry/00_totm/sept17-sub-totm-artificial-lift?page=5#.YUXtTp1KjIU>>. 2017

POWER TECHNOLOGY. *Could depleted oil wells be the next step in energy storage?* Disponível em: Power Technology: << <https://www.power-technology.com/features/featurecould-depleted-oil-wells-be-the-next-step-in-energy-storage-5680002/>>>. 2016

PUC-RIO. *Maxwell*. Fonte: PUC-Rio: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/22966/22966_3.PDF>>. 2011

ROSA, A. J. *Engenharia de Reservatório de Petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência. 2006

SÁNCHEZ, L. *Desengenharia. O passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais*. São Paulo: EdUSP/FAPESP. 2001

SANDIA NATIONAL LABORATORIES. *Economic Analysis of Large-Scale Hydrogen Storage for Renewable Utility Applications*. Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550: SANDIA REPORT. 2011

SANSONE, E. *Permeabilidade das Rochas*. Disponível em: [edisciplinas.usp.br: <<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1678305/mod_resource/content/1/07%20-%20PMI1673%20-%202014%20-%20Permeabilidade.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1678305/mod_resource/content/1/07%20-%20PMI1673%20-%202014%20-%20Permeabilidade.pdf)>>. 2015

RC: 121941

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



SHEN, Z.-G., TIAN, L.-L., & LIU, X. Automotive exhaust thermoelectric generators: Current status, challenges and future prospects. *Energy Conversion and Management*, 1138-1173. 2019

SHULMAN, G. *LOW TEMPERATURE FLASHED STEAM POWER GENERATION*. Disponível em: <<<https://www.geothermal-energy.org/>: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/1995/3-shulman.pdf>>>. 1995

SILVA, M., RIBEIRO, J., CARMO, J., GONCALVES, L., & CORREIA, J. Thin-films for Thermoelectric Applications. *University of Minho*, 1-23. 2013

SMITH, F. *Hazardous Waste Disposal And Cleaning*. Disponível em: SlideShare: <https://www.slideshare.net/mohammedashique5/hazardous-waste-disposal-and-cleaning-biochemical-and-nuclear-wastes>>>. 2018

SORENSEN, E. *Canada's nuclear waste to be buried in deep underground repository*. Disponível em: Global News: <<<https://globalnews.ca/news/5329835/canadas-nuclear-waste-to-be-buried-in-deep-underground-repository/>>>. 2019

STORELECTRIC. *The Storelectric Technology*. Disponível em: Storelectric: <<<https://www.storelectric.com/technology/>>>. 2021

SWAROWSKI ARBOIT, N., DECEZARO, S., MELLO DO AMARAL, G., LIBERALESSO, T., MICHAEL MAYER, V., & DA CUNHA KEMERICH, P. Potencialidade de utilização da energia geotérmica no brasil – uma revisão de literatura. *Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 26*, 155-168. 2013

THOMAS, J. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência. 2001

RC: 121941

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>



TOTAL. *Total – What is CCUS?* Disponível em: YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=HSvWrjviqZM>>>. 2018

US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Nuclear explained: Nuclear power and the environment*. Disponível em: US Energy Information Administration: <<<https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-and-the-environment.php>>>. 2020

VISSER, W. *Why metals should be recycled, not mined*. Disponível em: The Guardian: <<<https://www.theguardian.com/sustainable-business/2014/nov/05/metals-recycled-mine-extractive-business>>>. 2014

ZHANG, J., GUO, J., LI, Y., & SUN, Z. 3D-Basin Modeling of the Changling Depression, NE China: Exploring Petroleum Evolution in Deep Tight Sandstone Reservoirs. *Energies*, 1-27. 2019

ZHOU, W., YAMAMOTO, K., MIURA, A., IGUCHI, R., MIURA, Y., UCHIDA, K.-I., & SAKURABA, Y. Seebeck-driven transverse thermoelectric generation. *Nature Materials*, 463-467. 2021

NOTA DE PIE DE REFERENCIA DEL APÉNDICE

3. Agencia Nacional del Petróleo de Brasil.

4. NORM y TENORM son materiales radiactivos naturales.

Enviado: Abril de 2022.

Aprobado: Julio de 2022.

RC: 121941

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/reingenieria>