



El almacenamiento subterráneo de gas



Underground gas storage

Por/By Evandro Correa Nacul y Juan José Rodríguez, YPF S.A.

© Society of Petroleum Engineers

La fuerte tendencia hacia el incremento en el número de instalaciones de almacenamiento subterráneo de gas que se ve actualmente en los países con marcadas diferencias climáticas en invierno y verano, está relacionada con el hecho de que esta herramienta operativa es el medio tecnológico más adecuado, económico, seguro y amigable con el ambiente que tiene la industria para almacenar grandes volúmenes de gas listos para ser comercializados.

El trabajo "Almacenamiento Subterráneo de Gas en el mundo. Situación en la República Argentina" presentado en el 1^{er} Congreso Latinoamericano y del Caribe de Gas y Electricidad realizado en Bariloche del 6 al 9 de abril pasado, muestra la gran importancia que tiene actualmente el Almacenamiento Subterráneo de Gas en el mundo moderno en conexión con su utilidad para los sistemas de distribución y transporte de gas y con la estabilización de la producción de hidrocarburos gaseosos y líquidos en los yacimientos involucrados.

Evandro Correa Nacul es Gerente de la División Regional Centro Oeste de YPF S.A. con sede en la ciudad de Neuquén. Ha obtenido el grado de PhD en Ingeniería de Reservorios de la Universidad de Stanford (USA) donde además ha actuado en la investigación y docencia.

Su actividad profesional se inició en la empresa Petrobras (Brasil) y continuó con la compañía Scientific Software Intercomp (USA). Es autor de diversos trabajos técnicos de su especialidad.

Juan José Rodríguez es líder de Proyectos de Almacenamiento Subterráneo de Gas en YPF S.A. Se graduó de geólogo en la Universidad Nacional de la Patagonia (Chubut, Argentina) y su desarrollo profesional se ha llevado a cabo en actividades vinculadas con los sistemas de captación de gas en yacimientos y con proyectos de Almacenamiento de Gas en la Argentina, habiéndose desempeñado con anterioridad en las empresas Gas del Estado S.E. y Roch S.A. Ha publicado varios trabajos sobre aprovechamiento y almacenamiento de gas.

The current strong trend to increase the number of underground gas storage facilities in countries with marked seasonal climatic differences relates to the fact that this operative tool is the most adequate, economical, safe, and environment-friendly operative tool the industry has to store large gas volumes, ready to be distributed.

The paper "Underground Gas Storage in the world-Situation in the Argentine Republic", delivered at the 1st Latin American and Caribbean Gas and Electricity Congress performed last April 6-9 in Bariloche, highlights the great importance underground gas storage currently has in the modern world in relation to its usefulness for the distribution and transportation systems and with the stabilization of gaseous and liquid hydrocarbons in the involved gas fields.

El Almacenamiento Subterráneo de Gas (ASG) se ha transformado en una herramienta esencial en los países más avanzados del mundo, donde se han desarrollado instalaciones de almacenamiento subterráneo para gas natural, gas licuado (LPG), productos petroquímicos, etc. a través de diferentes procesos y técnicas adecuadas.

En este sentido, los países importadores de gas natural, tales como Alemania, Francia e Italia, han tenido que desarrollar ASG en lugares cercanos a los principales centros urbanos e industriales por razones estratégicas que surgieron del pasado y también por la necesidad de tener un suministro confiable y obtener un buen precio en los contratos de compra de mediano y largo plazo.

Por otro lado, en los Estados Unidos y Canadá, las primeras instalaciones de ASG que se construyeron, se desarrollaron simultáneamente con el crecimiento de la industria de gas natural, mientras también se estaban desarrollando los sistemas de distribución y de transporte.

En los mercados como el de Latinoamérica, el gas natural todavía no tiene una gran participación de la matriz energética de los países, salvo Argentina, Bolivia, México y Venezuela. En Chile y Brasil, por ejemplo, se espera que haya un fuerte incremento de la participación de este fluido durante la próxima década, como resultado de las crecientes importaciones de Bolivia y la Argentina.

También Uruguay y Paraguay, aunque en menor medida, experimentarán cambios en su base de suministro energético, como resultado de la introducción del gas argentino, siempre que se concreten los proyectos de exportación que están bajo estudio actualmente.

Para obtener una red de gasoductos troncales para el suministro regional entre los países Latinoamericanos del Cono Sur, que opere eficientemente y que satisfaga adecuadamente el suministro nacional de la Argentina, será necesario desarrollar una serie de proyectos de ASG que hagan posible la descompresión y que atenuen las grandes fluctuaciones de demanda en el mercado, modulando la producción de gas en los yacimientos.

Actualmente no hay instalaciones de ASG en Latinoamérica, lo cual es un obstáculo por superar para lograr la integración regional de gas sin mayores complicaciones, fundamentalmente en términos de flexibilidad operativa, calidad del servicio de distribución de gas y un dimensionamiento adecuado y racional de las nuevas instalaciones que serán construidas.

Un análisis de lo que está ocurriendo actualmente en el mundo muestra claramente que el ASG es esencial para satisfacer los incrementos en la demanda del gas en el momento exacto en el cual surge la necesidad, impidiendo las interrupciones del suministro a los grandes usuarios —como centrales termoeléctricas e industrias—.

En la Argentina, los grandes centros de consumo de gas natural están generalmente ubicados a grandes distancias de las áreas de producción, lo cual hace que sea necesario tener gasoductos troncales de cientos o hasta de miles de kilómetros de largo con diámetros sobredimensionados, debido a la falta de instalaciones de ASG que harían posible transportar el gas requerido y mantener un nivel alto de *line pack* para enfrentar situaciones operativas que son inesperadas o difíciles de predecir.

A diferencia de los sistemas de transmisión de electricidad y debido a la baja velocidad a la cual se mueve el gas natural por los gasoductos, estos sistemas tienen una fuerte inercia física. Esto muestra que para resolver los problemas de suministro de gas, las instalaciones de ASG tienen que construirse cerca de los centros de consumo, tomando en cuenta las características del mercado y las condiciones geológicas del subsuelo.

Underground Gas Storage (UGS) has become an essential tool in the most advanced countries of the world, where underground storage facilities for natural gas, liquefied gas (LPG), petrochemical products, etc. have been developed through different appropriate processes and techniques.

In this sense, natural gas importing countries, such as Germany, France and Italy, have had to develop UGS in places near the main industrial and urban centers for strategic reasons that emerged in the past and also because of the need to have a reliable supply and obtain good prices in the mid- and long-term gas purchase agreements.

On the other hand, in the United States and Canada, where the first UGS facilities were built, such facilities were developed simultaneously with the growth of the natural gas industry, while transportation and distribution systems were also being developed.

In markets like Latin America, natural gas does not yet have a big share in countries' total energy consumption, except for Argentina, Bolivia, Mexico and Venezuela. In Chile and Brazil, for instance, a significant increase in this fluid's share is expected to take place during the next decade, as a result of growing imports from Bolivia and Argentina.

Also Uruguay and Paraguay, although to a smaller extent, will undergo changes in their energy supply base, as a result of the introduction of Argentine gas, provided that the export projects currently under analysis are materialized.

In order to obtain a trunk gas pipeline network for regional supply among Latin American southern cone countries, which operates efficiently and which satisfactorily meets Argentina's domestic

supply, it will be necessary to develop a series of UGS projects which will make it possible to decompress and soften the big fluctuations in market demand, modulating gas production in the fields.

There are currently no UGS facilities in Latin America, which is an obstacle to be overcome in order to achieve the gas regional integration without major complications, mainly in terms of operating flexibility, gas distribution service quality, and an adequate and rational sizing of the new facilities to be built.

An analysis of what is currently happening in world clearly shows that UGS is essential in order to meet gas demand increases at the exact moment in which the need arises, preventing interruptions in the supply to large users —like thermoelectric power plants and industries— by means of an uninterrupted service.

In Argentina, big natural gas consumption centers are usually located at long distances from production areas, which makes it necessary to have trunk pipelines of hundreds or even thousands of kilometers long and with oversized diameters, due to the lack of UGS facilities which would make it possible to transport the required gas and maintain a high line pack level in order to face operating situations which are unexpected or difficult to predict.

Unlike electricity transmission systems and due to the low speed at which natural gas moves along the pipelines, these systems have strong physical inertia. This shows that in order to solve gas supply problems, UGS facilities have to be built near consumption centers, taking into account market features and the subsurface geological conditions.

El ASG en el mundo

Hasta 1995 se desarrollaron en el mundo más de 550 instalaciones de ASG, alcanzando una capacidad de gas de trabajo (working gas capacity) de 243.000 millones de m^3 y un volumen total de 502.000 millones de m^3 . Dicha capacidad de gas de trabajo representa el 11% del consumo total mundial (Figs 1 y 2).

Los primeros proyectos se llevaron a cabo a partir de 1916 en los Estados Unidos, haciendo uso de la disponibilidad de yacimientos agotados de petróleo y gas, alcanzando para fines de 1993 un total de 386 reservorios de ASG en servicio (Fig. 3), cubriendo 38% del consumo interno de invierno. La capacidad de gas de trabajo representa 102.000 millones de m^3 , con una tendencia ascendente debido a la competencia existente en el negocio del ASG, como resultado de las nuevas reglas que derivan de la Orden 636, promulgada por FERC.

En los Estados Unidos se han construido todo tipo de ASG, donde hay 47 instalaciones en acuíferos, 18 en cavernas de sal, 1 en minas en desuso y 320 en yacimientos agotados, lo cual constituye una producción pico diaria total de 1894 millones de m^3 .

En Canadá, donde el ASG está muy bien desarrollado, hay 38 instalaciones, 31 de las cuales están en yacimientos agotados y 7 en cavernas de sal, alcanzando un total de 12.506 millones de m^3 de capacidad de gas de trabajo y un índice de retiro máximo diario de 199 millones de m^3 .

UGS in the world

More than 550 UGS facilities were developed throughout the world until 1995, reaching a 243 billion m^3 working gas capacity and a 502 billion m^3 total volume. Such working gas capacity accounts for 11 % of total world consumption (Figs 1 and 2).

The first UGS projects were carried out as from 1916 in the United States, making use of the availability of depleted gas and oil fields, reaching by late 1993 a total of 386 UGS reservoirs in service (Fig. 3), covering 38% of winter domestic consumption. Working gas capacity amounts to 102 billion m^3 , with an upward trend due to the exist-

ing competition in the UGS business, as a result of the new rules deriving from Order 636, passed by the FERC.

All sorts of UGS have been built in the US, where there are 47 facilities in aquifers, 18 in salt cavities, 1 in disused mines and 320 in depleted fields, which make up a total peak daily output of 1894 million m^3 .

In Canada, where UGS is very well developed, there are 38 facilities, 31 of which are in depleted fields and 7 in salt cavities, reaching a total working gas capacity of 12,506 million m^3 and a maximum withdrawal rate/day of 199 million m^3 .

In Western Europe, which is highly dependent on UGS services, there is a total of 66 facilities, 25 of which are in depleted fields, 21 in aquifers, 18 in salt caverns and 2 in disused mines.

The countries in this region which have UGS facilities are: Austria (5), Belgium (2), Denmark (1), France (15), Germany (32), Italy (8), Spain (1) and the United Kingdom (2), reaching a 40,665 million m^3 working gas capacity and a 781,5 million m^3 peak daily output.

Eastern Europe, in turn, has 63 facilities providing a working gas capacity of 87,787 million m^3 and a maximum withdrawal rate/day of 604 million m^3 . The types of

Fig. 1

Almacenamiento subterráneo de gas en el mundo Underground gas storage in the world



Diferentes tipos de almacenamiento en el mundo The different types of storage in the world

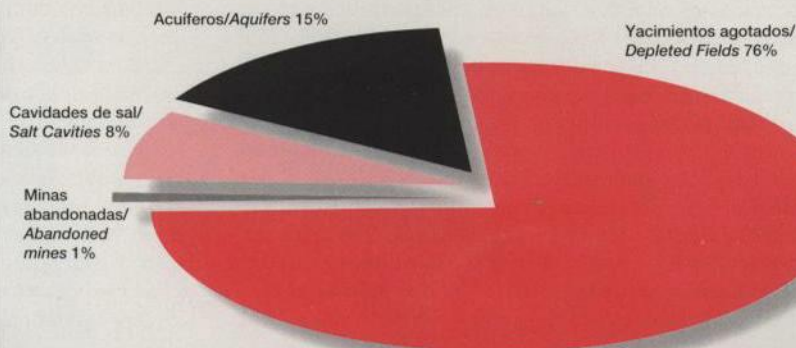


Fig. 2

rio de 199 millones de m^3 .

En Europa Occidental, la cual es altamente dependiente de los servicios de ASG, hay un total de 66 instalaciones, 25 de las cuales están en yacimientos agotados, 21 en acuíferos, 18 en cavernas de sal y 2 en minas en desuso.

Los países en esta región que tienen instalaciones de ASG son: Austria (5), Bélgica (2), Dinamarca (1), Francia (15), Alemania (32), Italia (8), España (1) y el Reino Unido (2), alcanzando un total de 40.665 millones de m^3 de

Resumen del Almacenamiento Subterráneo de Gas Mundial World Underground Gas Storage Summary

Fig. 3

	Depleted Fields	Aquifers	Salt Cavities	Disused Mines	Total	Total volume	Cushion gas	Working gas	Max Withdrawal rate/day
	Yac. Agotados	Acuíferos	Cavidades de sal	Minas en desuso		Volumen total	Gas colchón	Gas de trabajo	Índice de Retiro Max. diario
North America	351	47	25	1	424	252672	138127	114545	2093
Canada	31	-	7	-	38	24856	12350	12506	199
USA	320	47	18	1	386	227816	125777	102039	1894
Western Europe	25	21	18	2	66	86213	45558	40655	781.5
Austria	5	-	-	-	5	4620	2200	2420	28.6
Belgium	-	1	-	1	2	941	435	506	9.5
Denmark	-	-	1	-	1	550	250	300	10.8
France	-	12	3	-	15	23305	12770	10535	167.3
Germany	10	8	13	1	32	18678	8361	10317	270
Italy	8	-	-	-	8	26954	14054	12900	233
Spain	1	-	-	-	1	915	420	495	4.7
UK	1	-	1	-	2	10250	7068	3182	57.6
Eastern Europe	48	14	1	-	63	162002	74215	87787	604.38
Bulgaria	1	-	-	-	1	550	250	300	3
Czech Republic	3	1	-	-	4	3645	2085	1560	19.1
Former Yugoslavia	1	-	-	-	1	1000	500	500	3.5
Hungary	3	-	-	-	3	4178	2315	1863	26.4
NIS	32	13	1	-	46	146000	65490	80510	515
Poland	4	-	-	-	4	1829	1175	654	7.73
Romania	3	-	-	-	3	1400	700	700	4.65
Slovakia	1	-	-	-	1	3400	1700	1700	25
Australia	1	-	-	-	1	700	300	400	1.8
World Total	425	82	44	3	554	501587	258200	243387	3480.68
Total Mundial									

Source/Cedigaz 1995

capacidad de gas de trabajo y una producción diaria pico de 781.500 millones de m³.

Europa Oriental, a su vez, tiene 63 instalaciones que proveen una capacidad de gas de trabajo de 87.787 millones de m³ y un índice de retiro máximo diario de 604 millones de m³. Los tipos de ASGs que tienen están desarrollados de la siguiente manera: 48 en yacimientos agotados, 14 en acuíferos y 1 en cavernas de sal.

Los países de esta región que tienen esta tecnología son Bulgaria (1), la República Checa (4), la ex Yugoslavia (1), Hungría (3), los Estados Nuevos Independientes (46), Polonia (4), Rumania (3) y Eslovaquia (1).

Australia tiene un ASG desarrollado en un yacimiento agotado, con una capacidad de gas de trabajo de 400 millones de m³ y una producción diaria pico de 1.800.000 m³.

Vale la pena mencionar que el ASG en el mundo es manejado por unas 110 compañías, la mayoría de las cuales son compañías de transporte y de distribución de gas y en menor medida, los productores, compañías de almacenamiento independientes, centrales eléctricas y usuarios finales.

El ASG tiene un futuro promisorio, considerando que el gas natural es un combustible del cual hay un suministro relativamente abundante en el mundo, siendo el más adecuado para el suministro energético de los países que lo tienen como recurso, ya sea proveniente de su propia producción o de importaciones, debido a que es económicamente competitivo, ambientalmente sano, seguro y fácil de manipular.

Por todas estas razones, se espera que ocurra un aumento significativo de la demanda de gas natural, que le permitiría a este fluido alcanzar, para el año 2010, una participación del 25% del consumo total mundial de energía.

Una prueba de la fuerza que está adquiriendo el ASG es lo que está pasando en los Estados Unidos, donde se han identificado más de 80 proyectos nuevos, 34 de los cuales son expansiones de instalaciones existentes y 47 en áreas nuevas.

De igual manera, se estima que Europa Oriental actualmente tiene cerca de 30 proyectos nuevos de ASG, que estarán desarrollados en los próximos 10 a 15 años, con el propósito de satisfacer la creciente demanda de gas natural.

En Polonia y Rumania se espera que se construyan nuevas instalaciones, considerando la favorable ubicación geográfica de esos países con respecto a los gasoductos de suministro de gas que vienen de Rusia, y al gas en tránsito que va del Medio Oriente a Europa Occidental.

Latinoamérica no es una excepción a esta realidad moderna del mundo y hay varios emprendimientos bajo estudio tanto para almacenamiento de gas natural como para gas licuado. En este sentido, países como Brasil, Uruguay y la Argentina están avanzando en las primeras etapas de los estudios de factibilidad de los proyectos.

UGS they have are developed as follows: 48 in depleted fields, 14 in aquifers and 1 in salt cavities.

The countries of this region which have this technology are Bulgaria (1), Czech Republic (4), Former Yugoslavia (1), Hungary (3), New Independent States (46), Poland (4), Romania (3) and Slovakia (1).

Australia has one UGS developed in depleted field, with a 400 million m³ working gas capacity and a 1.8 million m³ peak daily output.

It is worth mentioning that UGS in the world is managed by some 110 companies, most of which are gas transportation and distribution companies and, to a lower extent, producers, independent storage companies, electric power plants and final users.

UGS has a promising future, considering that natural gas is a fuel of which there is a relatively plentiful supply in the world, being the most adequate fuel for energy supply in the countries which have it as a resource, whether

deriving from their own production or from imports, on account of its being economically competitive, environmentally sound, safe and easy to handle.

For all those reasons, a significant increase in natural gas demand is expected to take place, which would allow this fluid to reach, by the year 2010, a 25% share in the world's total energy consumption.

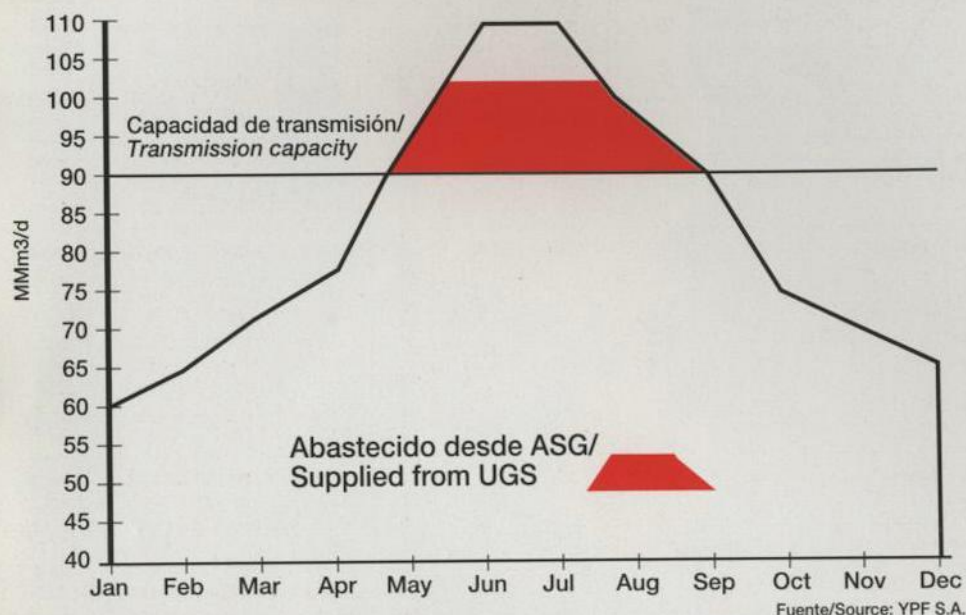
One proof of the force that UGS is gaining is what is happening in the United States, where more than 80 new projects have been identified, 34 of which being expansions of existing facilities and 47 in new areas.

Likewise, it is estimated that Western Europe currently has approximately 30 new UGS projects, which will be developed in the next 10 or 15 years, with the purpose of meeting the growing demand for natural gas.

In Poland and Romania new facilities are also expected to be built, considering the favorable geographic location of these countries regarding

Demanda de gas vs. capacidad de transmisión

Gas demand vs. transmission capacity



Situación del ASG en la Argentina

Argentina tiene reservas de gas natural significativas en lugares que están distantes de los principales centros de consumo, es decir, en las cuencas del Noroeste, la Neuquina y la Austral, las cuales abastecen el mercado interno con un horizonte de aproximadamente 20 años.

El mercado de gas natural de la Argentina es lo suficientemente maduro y tiene una red de gasoductos troncales amplia, que cubre prácticamente todo el país. La región Mesopotámica (Noreste) es la única que no ha sido alcanzada por gasoductos para su abastecimiento, pero ya hay dos proyectos para tender líneas nuevas, que en el corto plazo atravesarán una gran porción de la región.

Por otro lado, hay varios proyectos para exportar gas argentino a países tales como Chile, Brasil, Uruguay y Paraguay, algunos ya están encaminados y otros están siendo analizados. Esto nos permite predecir que en la próxima década habrá una importante red de gasoductos en esta región del Cono Sur, incluyendo Bolivia y posiblemente Perú.

Además de esto, la demanda argentina altamente estacional invierno-verano, que aumenta en aproximadamente un 50% en períodos de consumo pico (julio-agosto), hace que sea absolutamente esencial desarrollar ASG para optimizar y racionalizar la producción de gas y las instalaciones de tratamiento en los yacimientos, al igual que las de transporte y distribución (Fig. 4).

Vale la pena mencionar que hoy en día, debido a la falta de instalaciones de ASG y por el suministro preferencial que se le da a los clientes residenciales, frente a la falta de suministro en los períodos pico de invierno, es necesario interrumpir temporalmente el suministro a las centrales termoeléctricas y a los clientes industriales, con la pérdida subsiguiente de mayores volúmenes de venta de gas.

Durante el verano, a su vez, los pozos productores de gas se tienen que cerrar en los yacimientos como resultado de la abrupta reducción de demanda, lo cual acarrea menor producción de hidrocarburos líquidos asociados, como condensado, nafta y LPG.

Frente a esta realidad, YPF S.A. ha decidido tomar la iniciativa y desarrollar proyectos de ASG en la Argentina, los cuales, estratégicamente ubicados posibilitarán la modulación de la producción en yacimientos y la estabilización de los caudales de gas transportados por los gasoductos troncales (Fig. 5).

the gas supply pipelines coming from Russia, and the in transit gas going from the Middle East to Western Europe.

Latin America is not an exception to this modern world reality and there are several undertakings under study both for natural gas and liquefied gas storage. In this sense, countries like Brazil, Uruguay and Argentina are making progress in the first stages of the projects' feasibility studies.

Situation of UGS in Argentina

Argentina has significant natural gas reserves in locations which are far from the main consumption centers, that is, in the Noroeste, Neuquina and Austral Basins, which supply domestic demand with a horizon of approximately 20 years.

The Argentine natural gas market is mature enough and it has a wide trunk gas pipeline network which covers practically the whole country. The Mesopotámica (Northeast) region is the only one which has not been reached with gas supply pipelines, but there are already two projects for laying

new lines which, in the short term, will go through a large portion of the region.

On the other hand, there are several projects to export Argentine gas to countries like Chile, Brazil, Uruguay and Paraguay, some of which are underway and others are being analyzed. This allows us to predict that in the next decade there will be an important gas pipeline network in this region of the Southern cone, including Bolivia and, possibly, Peru.

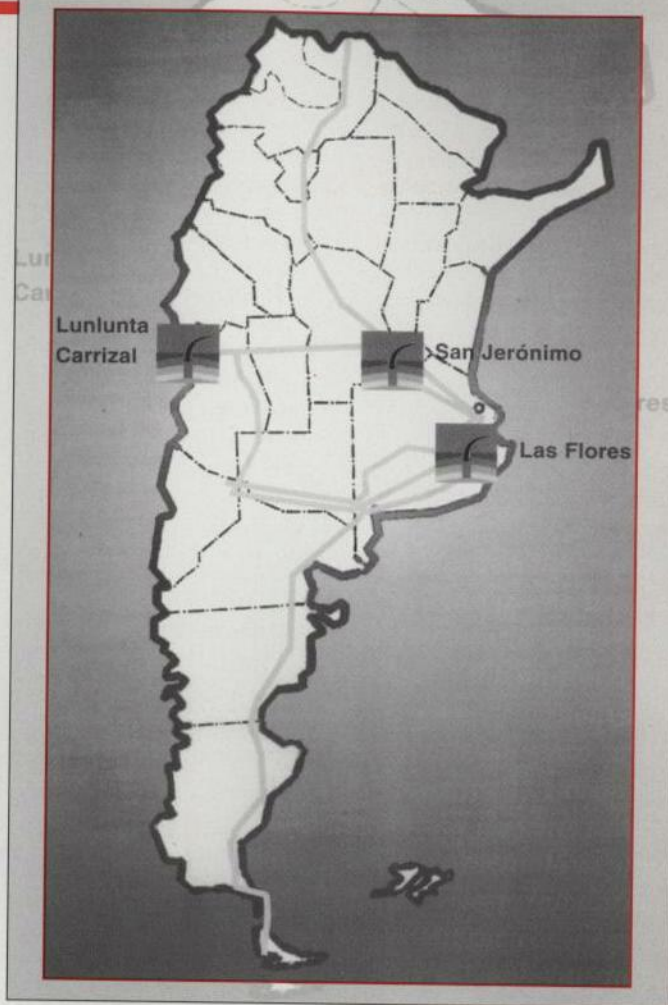
In addition to this, the highly seasonal summer-winter demand in Argentina, which increases by approximately 50% in peak consumption periods (July-August), makes absolutely essential to develop UGS in order to optimize and rationalize gas production and treatment facilities in the fields, as well as those for transportation and distribution (Fig. 4).

It is worth mentioning that nowadays, due to the lack of UGS facilities and the preferential supply given to residential clients, in the face of lack of supply in peak winter periods, it is necessary to temporarily interrupt supply to thermoelectric power plants and industrial clients, with the subsequent loss of larger gas sales volume.

During summer, in turn, gas producing wells have to be shut down in the fields as a result of the sharp reduction in demand, which brings about a lower production of associated liquid hydrocarbons, like condensate, gasoline and LPG.

In the face of this reality, YPF S.A. has decided to take the initiative and develop UGS projects in Argentina, which, strategically located, will make it possible, in the short term, to modulate production and stabilize gas rates going through trunk pipelines (Fig. 5).

Proyectos ASG en Argentina UGS Projects in Argentina



Proyectos en desarrollo

a) En yacimientos agotados

Yacimiento Lunlunta Carrizal. Este yacimiento está ubicado en el área de la cuenca Cuyana, a 60 km al sudeste de la ciudad de Mendoza.

Este es un yacimiento de petróleo subsaturado descubierto en el año 1954 en una trampa estructural con dos culminaciones, su eje está ubicado en la dirección aproximada Norte-Sur.

La roca del reservorio en cuestión está constituida por arenisca conglomerádica con intercalaciones de arcilla, mientras que su sello, por encima de la anterior está compuesto por rocas efusivas con niveles clásticos.

El proyecto consiste en inyectar gas natural en la culminación sur, produciendo al principio una mayor recuperación del petróleo residual y creando una burbuja de gas capaz de ser utilizada como almacenamiento.

El programa de relevamiento emprendido comprende tres etapas:

- 1-Simulación numérica del reservorio.
- 2-Alistamiento y puesta en marcha de instalaciones de compresión.
- 3-Prueba piloto de inyección de gas.

Habiendo completado las etapas 1 y 2, la etapa 3 se está desarrollando con resultados satisfactorios, la cual se estima que estará terminada en 1997.

Relevamientos complementarios: actualmente se ha terminado un programa de registro de sísmica 3D para obtener más información sobre la estructura geológica bajo estudio.

Además, se ha perforado un pozo de exploración ubicado en la parte superior de dicha estructura, obteniendo más información sobre las condiciones petrofísicas de la roca superior (cap rock) y de la roca de reservorio.

Actualmente se está realizando la interpretación de la sísmica 3D y el estudio de factibilidad final estará terminado a fines de 1997.

b) En acuíferos

Cuencas del Salado y del Noreste. El relevamiento de las áreas de interés se realiza de acuerdo con la siguiente metodología, que se divide en tres etapas:

- 1) Incluye una propuesta de relevamiento topográfico, diagnóstico, revisión y relevamiento de las estructuras involucradas, seleccionando aquellas con las mejores condiciones para Almacenamiento de Gas.
- 2) Comprende la ejecución de trabajos en el campo y de laboratorio, que consisten en el registro de líneas sísmicas (2D y 3D) y en la perforación de pozos de exploración con el pro-

ble de being used as storage.

The survey program undertaken comprises three stages:

- 1-Numerical simulation of the reservoir.
- 2-Pre-commissioning and commissioning of compression facilities.
- 3-Gas injection pilot testing.

Having completed Stages 1 and 2, Stage 3 is now being developed with satisfactory results, which is estimated to be completed in 1997.

Complementary Surveys: At present, a 3D seismic recording program has been finished in order to obtain more information on the geological structure under survey.

Besides, an exploration well located at the top of said structure has been drilled, taking more information about the petrophysical conditions of the cap rock and the reservoir rock.

Nowadays an Interpretation of the 3D seismic is performed and the Final Feasibility Study will be finished at the end of 1997.

b) In Aquifers

Salado and Noreste

Basins. The survey of the areas of interest is carried out in accordance with the following methodology which is divided into three stages:

- 1) This stage includes a topographic survey, diagnosis, review and survey proposal of the structures concerned, selecting those which have the best capabilities for Gas Storage.
- 2) This stage comprises the execution of on-field and laboratory works which consist of recording seismic lines (2D and 3D) and drilling of exploration wells for the purpose of defining the extension and form of the structures, as well as the type, quality and quantity of reservoirs and seals existing in the area under survey.

Likewise, the most suitable technologies for the execution of the works and their

Projects in Progress

a) In Depleted Oil Field

Lunlunta Carrizal Field.

At about 60 km southeast of the city of Mendoza, this oil field is located in the Cuyana Basin area.

This is a sub-saturated oil field discovered in the year 1954 in a structural trap with two apexes, its axis being located in an approximate North-South direction.

The reservoir rock in question is constituted by conglomerate sandstone with clay intercalations, whereas its seal, overlaying the former is made up of effusive rocks and clastic levels.

The project consists of injecting natural gas into the South apex, causing at first a greater recovery of residual oil and creating a gas bubble capa-

pósito de definir la extensión y la forma de las estructuras, a igual que el tipo, calidad y cantidad de reservorios y sellos que existen en el área bajo estudio. De la misma manera, se evalúan las tecnologías más adecuadas para la ejecución de las obras y su subsiguiente operación.

- 3) Involucra la preparación de la ingeniería de detalle, la construcción y operación de las instalaciones de Almacenamiento seleccionadas. La información anteriormente considerada con el propósito de definir las mejores alternativas de proyecto fue la siguiente:

- Distancia desde Buenos Aires: 300 km
- Distancia desde el gasoducto más cercano: 50 km
- Profundidad del reservorio: 800 a 1500m
- Gas útil: 100 millones a 500 millones de m³.

Se ha alcanzado un avance simultáneo en ambas cuencas, habiendo completado la etapa 1, mientras que la etapa 2 está bajo desarrollo.

Puesta en Marcha esperada: Cuenca Noreste, año 2000 y Cuenca del Salado, año 2003.

CONCLUSIONES

- 1) El aspecto más relevante del almacenamiento subterráneo yace en la seguridad con la que se pueden acumular grandes volúmenes de gas, en cantidades suficientes como para hacer frente a prolongados períodos de demanda estacional de invierno, bajo excelentes condiciones de equilibrio con el ambiente en el cual se desarrollan.
- 2) Las tecnologías modernas empleadas nos permiten garantizar la estanqueidad del gas en el reservorio, utilizando pozos de observación y de control para el seguimiento de la evolución del gas dentro del reservorio y de las capas superiores.
- 3) El Almacenamiento Subterráneo de Gas representa el sistema más rápido y más económico para el suministro de gas natural a los grandes centros de consumo. Además, las ventajas de no contaminación hacen que esta tecnología ofrezca la mejor solución para satisfacer la creciente demanda del mercado de la próxima década.
- 4) YPF S.A. está desarrollando proyectos de Almacenamiento Subterráneo de Gas, convencida de su importancia desde el punto de vista de la calidad de servicio a prestar a sus clientes, dando la continuidad necesaria para el suministro de gas a los sistemas de distribución industrial y residencial.

subsequent operation are evaluated.

- 3) This stage covers the preparation of detail engineering, construction and operation of the selected Storage facilities. The information previously considered for the purpose of defining the best project alternatives was the following:

- Distance from Buenos Aires: 300 km

- Distance from the nearest gas pipeline: 50 km
- Reservoir depth: 800 to 1500 m
- Working gas: 100 million to 500 million m³

Simultaneous progress has been achieved in both basins, having completed Stage 1 and Stage 2 being in progress.

Expected Commissioning:
Noreste Basin, 2000 and
Salado Basin, 2003

CONCLUSIONS

- 1) The most relevant aspect of underground storage lies on the safety with which great volumes of gas can be accumulated, in quantities enough to cope with long periods of winter seasonal demand, in excellent balance conditions with the environment in which they are developed.
- 2) The modern technologies employed enable us to guarantee reservoir gas-tightness, provided with observation and control wells for the evolution follow-up of the gas inside the reservoir and upper layers.
- 3) Underground Gas Storage represents the fastest and most economical system for the supply of natural gas to large consumption centers. In addition, the non-polluting advantages make this state-of-the-art technology the best solution in meeting the growing market demands of the next decade.
- 4) YPF S.A. is developing Underground Gas Storage projects, convinced of their importance from the standpoint of the quality of service to be rendered to its customers, providing the continuity needed in the supply of gas to residential and industrial distribution systems.

Referencias / References

1. Rodríguez J.J., *Proyectos de Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural en la Argentina*, 3° COLAGAS, Buenos Aires, Argentina, 1995.
2. Cornot Gandolphe S., *Underground Gas Storage in the World. A New Area of Expansion*. CEDIGAZ, Diciembre, 1995.
3. Nacul E, Rodríguez J.J. y Santistevan P., *Estudio de Factibilidad para Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural en el Yacimiento Lunlunta Carrizal*, 2° Simposio sobre Producción de Hidrocarburos, Mendoza, Junio, 1995.
4. Maglio H. Y Rodríguez J.J., *Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural en Yacimientos Semiagotados. Situación de los Proyectos en Ejecución en la República Argentina*, 2° COLAGAS, Salta-Argentina, 1992.
5. Weiner A. Y Arguello J., *Aprovechamiento de un Yacimiento Agotado como Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural*, 2° COLAGAS, Salta-Argentina, 1992.