

05-003

TURBOEXPANDERS APPLICATION TO POWER GENERATION

Delgado Calin, Gines; Nieto Morote, Ana
UPCT

This article presents an application to produce electrical power using the expansion of natural gas through a turboexpanders coupled to a generator. To get used to this technique we have reviewed all type of references (articles, journals, books) showing this application of turboexpanders for power generation. We have reviewed also the list of facilities founded and information from manufacturers.

Keywords: *efficiency; generation; feasibility; power ;projects*

APLICACIÓN DE LOS TURBOEXPANSORES PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA

Esta ponencia presenta una revisión de la aplicación de generación eléctrica mediante la expansión de gas natural en turbinas de expansión al que se acopla un generador. Para profundizar en la técnica se ha realizado un estudio de las referencias (artículos, revistas, libros) sobre esta aplicación. También se han revisado la información encontrada sobre instalaciones y sobre los fabricantes de esta tecnología.

Palabras clave: *eficiencia;generación;eléctrica;proyectos;viabilidad;*

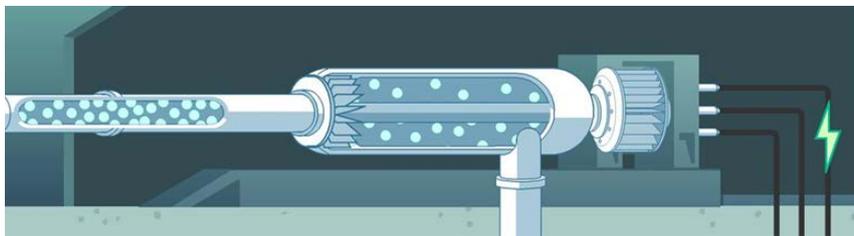
Correspondencia: Ginés Delgado gines.delgado@upct.es

1. Introducción

Una turboexpander o turbina de expansión, es una turbina radial o axial a través de la cual un gas a alta presión se expande para producir trabajo (Bloch & Soares, 2001). Este tipo de trabajo puede usarse para distintas aplicaciones, según la máquina a la que esté acoplada el equipo, pudiendo ser esta máquina un compresor, un freno o un generador eléctrico. Estos equipos se utilizan en diferentes aplicaciones industriales, habitualmente en procesos de productos petroquímicos, y posteriormente se ha ampliado su uso para la industria de generación eléctrica tanto en las aplicaciones geotérmicas como en la recuperación de energía en los gaseoductos (New Turboexpanders, n. d).

Como se muestra en la figura 1, el principio de funcionamiento de estos equipos para obtener energía eléctrica es la expansión de un fluido en los álabes que componen el rotor, que permite arrastrar un eje que a su vez mueve un generador.

Figura 1: Instalación de un turboexpander con generador acoplado



El turboexpander por tanto es una máquina que puede realizar la misma función que las válvulas de control, es decir, la regulación de presión de un fluido gaseoso pero aprovechando la energía de dicho salto de presión.

Es importante destacar las diferencias que presenta la reducción de presión utilizando reguladores frente a turboexpander. En la tabla 1 se muestran estos valores según Dariusz Kowala (2009):

Tabla 1: Comparación regulador con turboexpander

	Regulador	Turboexpander
Producción de trabajo	No	Si
Exergía del gas	Destruída	Utilizada
Descenso de la temperatura	≈5 k/mpa	≈20 k/mpa
Fuerzas que causan la caída de presión	Fricción	Turbina

Para mostrar numéricamente la aplicación del turboexpander para generación eléctrica sirva como ejemplo el modelo de Turboexpander ETG 190 MS-3 del fabricante Atlas Kopco, que puede manejar una presión de entrada de 51 bares, con una temperatura de entrada de 170°C y un caudal de gas natural de 60.582 Nm³/h. Con estos valores es capaz de producir una potencia de 4.526 kW.

El objetivo de este trabajo es revisar la aplicación de los turboexpanders para la generación eléctrica de forma distribuida, aprovechando los saltos de presión en el transporte por gaseoducto del gas natural para poder evaluar el potencial que esta aplicación tendría a nivel mundial.

2. Aplicaciones de los turboexpanders para generación eléctrica en la expansión del gas natural

Durante los últimos años hemos analizado las referencias que mencionan la palabra turboexpander, extrayendo de ellas las relacionadas con la aplicación de generación eléctrica por la expansión del gas natural. La mayoría de las publicaciones abordaron el problema desde el punto de vista teórico pero también son interesantes para nuestro trabajo las referencias que aportan datos técnicos de fabricantes que han implementado esta tecnología.

En 2008, la INGAA (Asociación Americana de Transporte de Gas Natural Interestatal) encargó un informe a una consultora para revisar las oportunidades de recuperación energética en el transporte del gas natural para hacerlo de forma más eficiente (Hedman, 2008). Este informe incluyó que los turboexpanders era una de las tres técnicas que podrían contribuir a este objetivo. Sin embargo, en ese momento concluyó que no había suficientes proyectos o instalaciones comerciales en las estaciones de regulación a las puertas de las grandes ciudades de Estados Unidos como para recomendarla a los asociados. Además señalaba que había una serie de variables que ponían en peligro la viabilidad de futuros proyectos que involucraran la generación eléctrica por expansión del gas natural. Estos factores eran económicos y técnicos; de los económicos destacaban el alto coste de la inversión inicial y el bajo precio de venta de la electricidad y entre los técnicos, la dificultad de encontrar localizaciones donde el caudal y el salto de presión fueran constantes a lo largo del año para poder predecir con fiabilidad el rendimiento de la turbina seleccionada.

Uno de los motivos del alto coste inicial, lo justificaba por la necesidad de pre o post calentar el gas para evitar la formación de condensaciones o hidratos de los componentes pesados que arrastra el gas natural. La turbina de expansión al expandir el gas natural consigue muy bajas temperaturas, a diferencia de las válvulas de regulación de presión que apenas bajan la temperatura 0,5°C por cada 1 bar de bajada de presión. Esto puede conllevar la instalación de calderas de gas que además de tener un coste de instalación también reducen los beneficios a largo plazo, pues en el coste de operación y mantenimiento habría que sumar el consumo de combustible.

Este informe menciona como desde los años 70 se comenzaba a plantear esta aplicación en la industria del gas, siendo en los años 80 cuando, en Estados Unidos, se instalaron en San Diego (California), Memphis (Tennessee) en 1983; Stockbridge (Georgia) en 1984 y Hamilton (New Jersey) en 1987, todas ellas en las estaciones de regulación a la entrada de la ciudad en paralelo a las clásicas válvulas de control de presión. Desde esa época, solo tiene constancia de unos 20 proyectos a nivel mundial y todos ellos subvencionados, es decir, proyectos piloto para demostración de la aplicación más que proyectos privados y comerciales.

Además, de los costes de inversión entre 600 y 2,300 \$/kw, en este informe se destaca el hecho de que cada proyecto necesitaría de una labor de ingeniería y diseño a medida porque no disponían los fabricantes de soluciones estándar que tuviera la suficiente flexibilidad operacional que suponen las variaciones de consumo del gas natural a lo largo del año.

En 2004 en Bangladesh y con el objetivo de reducir al mínimo la dependencia del petróleo, se postula la idea de aprovechar el salto de presión en las estaciones de regulación de gas natural para generar energía eléctrica (Mansoor, 2004). Se destaca el bajo impacto medioambiental de este nuevo tipo de generación de energía eléctrica, ya que no se necesita la combustión de un gas adicional, y por lo tanto se reducen notablemente las emisiones de CO₂. Además, se señala como ventaja la alta flexibilidad operacional al estar disponibles maquinas que manejan ratios de salto de presión desde 2:1 a 16:1. Se señala

también como característica positiva la alta disponibilidad de 350 días al año y se estima un mínimo de 30 años de vida. Como datos experimentales y de forma teórica, se exponen parámetros de presión y potencia eléctrica generables a partir de distintos caudales de gas natural, y por otro lado, usando datos reales de estaciones de regulación de presión cercanos a la ciudad de Dhaka. La previsión costes es de 800 \$/Kw para una instalación de 100 Kw y menos de 300 \$/kW para una instalación de 1.500 Kw.

En 2010, Mahabubur Rahman (2010), también de Bangladesh, profundiza más en la revisión de la aplicación del turboexpander para generar electricidad y destaca que en la mayoría de los casos, se da la necesidad de precalentar el gas natural antes de ser sometido a la expansión en la turbina, debido a la presencia de impurezas y agua en el gas natural. Además de estudiar los saltos de presión en la estaciones de regulación, lo hace también para los yacimientos. En este país, revisa su aplicación en 30 yacimientos calculándoles un potencial de generación de 9 Mwh y revisa los datos de caudal y salto de presión de 28 estaciones de regulación de las ciudades principales que supondrían otros 11 Mwh. Las potencias de los yacimientos oscilan en un rango desde 150 Kw a 500 kw, es decir, instalaciones de pequeño y mediano tamaño, sin embargo las estaciones de regulación son más variables en tamaño, desde 200 Kw a 5 Mw.

En esta revisión, los fabricantes ya son capaces de suministrar los equipos en las llamadas unidades paquete o skids lo que supone un gran avance en la estandarización de las máquinas para ciertos rangos de operación.

Estos autores de Bangladesh (Rahman, 2010 y Mansoor, 2004) hacen referencias a los proyectos de 2,2 Mw en Toronto, Canadá del 2008 y también los estudios de Mirandola y Mica en Italia, del prototipo que se instaló en Ravena en 1987, así como las revisiones similares que hicieron de esta aplicación en Irán.

En 2009, en Irán, Ardali y Heybatian (2009) presentan los resultados obtenidos usando un simulador de la oportunidad de producir 1,8 Mw en la estación de regulación de la ciudad de Shahrekord.

También en Irán, en 2010, Seresht y Jalalabadi (2010) realizan un estudio similar usando el software Thermoflow1 en la ciudad de Teherán, donde se podrían haber generado 170 Gwh anuales. Estos autores mencionan estudios similares realizados por Pozivill (2004), que empleo para su análisis el software comercial AspenTech's HYSIS.

En Polonia, Kowala (2009) y Kostowski, (2010), ambos usan técnicas de simulación y modelos exergéticos para calcular los balances de energía generables en los saltos de presión así como su viabilidad económica.

Clifford Robert Howard (2009) estimó para Canadá un potencial de generación eléctrica de 172 Mwh, lo cual supondría unos 1,5 Gwh anuales basándose en los datos obtenidos del proyecto piloto mencionado de Toronto desarrollado por las empresas Enbridge y Fuel Cell Energy que resolvían de una forma original el problema del precalentamiento .

3. Instalaciones de turboexpander a nivel mundial

Además de las referencias bibliográficas revisadas, son numerosos los fabricantes internacionales que actualmente disponen de catálogos e información técnica y comercial que en este caso nos aporta suficiente información para poder evaluar la viabilidad comercial de esta tecnología y en esta aplicación tan concreta. Esta revisión nos ha permitido realizar un listado que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Fabricantes de turboexpanders

	VOITH TURBO BHS GETRIEBE, MAN DIESEL&TURBO, RMG GROUP, SIEMENS
	AIRCO, ELLIOT GROUP, EMERALD POWER, LA TURBINE, LANGSON, MAFI- TRENCH
	CRYOSTAR
	ATLAS KOPCO
	TURBOGAZ, ENERGY
OTHER	HONEYWELL, TRICONEX, GELIYMASH, TRANSPACIFIC ENVIROENERGY,

Para la aplicación en cada país habría que analizar la idoneidad de unos fabricantes u otros. Por ejemplo, en España sería más razonable abordar los proyectos con turboexpanders con suministradores que tengan servicio técnico y fábrica en Europa, como son Atlas Kopco, Siemens y GE.

Existen más de 1.000 proyectos de turboexpanders desde el año 1988, mencionadas en la información de los fabricantes, sin embargo, la aplicación más común del turboexpander es tener acoplado un compresor en vez de un generador eléctrico (turboexpanders.com).

En el informe Hedman del 2008 se conocían poco más de 20 instalaciones, sin embargo nosotros hemos podido identificar en las páginas web de los fabricantes más de 40 instalaciones de turboexpanders en estaciones de regulación de presión de gas natural que sumarían unos 120 Mw. Los grandes gaseoductos que cruzan Ucrania trayendo el gas desde Rusia a Europa y el de Canadá hacia EEUU son dos localizaciones donde el turboexpander aparece frecuentemente alimentando de electricidad a las poblaciones cercanas al trazado del gaseoducto. También se encuentran en Irán y Turquía, en Europa países como Alemania, Italia, Bélgica, Holanda y Suiza son las referencias más frecuentes. (Energy, Bernie Watson (2004): Drew Robb (2007) y Nadav, 2010).

En Europa, la empresa Cryostar ha instalado 7,7 Mw en Italia, 7,8 Mw en Alemania y 5,3 Mw en Holanda. En Canada, en 2012, se realizó el proyecto Sakatoon que incluyó un turboexpander de 1 Mw. (Cryostar)

En Inglaterra, una empresa llamada 2OC incluye en sus proyectos el uso de turboexpanders Como ejemplo, un proyecto en Londres con 3,5 Mwh de potencia. Esta empresa estima que de las 12.500 estaciones de regulación existentes en Reino Unido, en 2.000 localizaciones podrían ser viables los turboexpanders (Mercer, 2010)

4. Resultados

Una vez revisadas las referencias bibliográficas y comerciales de esta tecnología, hemos podido calcular el potencial para la instalación de esta tecnología a nivel mundial. Estos cálculos se han realizado teniendo en cuenta los datos de consumo de gas natural del año 2012 publicados por la Agencia Internacional de la Energía (IEA). Aplicando la regla de que por cada 30.000 Nm³/h y existiendo un salto de presión mínimo de 2:1 se puede generar 1 Mw con un turboexpander disponible comercialmente (Mansor, 2004). Realizando estos cálculos, se estima que se podrían llegar a producir 124 Twh/año como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: Consumo de gas natural y generación eléctrica con turboexpanders (TEX)

	Billones m ³	Twh/año con TEX
Mundial	3.719.026	124,0
America del Norte	990.269	33,0
Eurasia	676.716	22,6
Europa	675.833	22,5
Asia & Oceanía	653.906	21,8
Oriente Medio	440.845	14,7
America Central y Sur	154.764	5,2
Africa	126.692	4,2

Para entender la magnitud de esta cifra, la podemos comparar con la energía eléctrica producida a nivel mundial en los años 2012, 21.531 Twh y 2013, 22.668 Twh. Es decir, representaría un 0.6% de toda la generación mundial con cero emisiones de CO₂. Este porcentaje podría parecer pequeño, pero si lo comparamos con la energía consumida por un país como España en 2012, 280 Twh supondría el 50% del consumo anual de un país desarrollado sin CO₂ acumulado.

La IEA (IEA, 2012) nos indica que las medias de eficiencia aportan un 38% de reducción de las emisiones, mientras que las energías renovables solo contribuyen un 30% y el almacenamiento del CO₂ en un 14%.

La tecnología de los turboexpanders hay que considerarla en el largo plazo, es decir, la IEA, la ONU y diversas agencias internacionales (Europa, 2012) predicen en distintos escenarios de necesidades futuras de energía que el gas natural en todos los escenarios posibles crece su consumo mundialmente. Este incremento se ve distribuido por regiones, pero es especialmente acusado en China y EEUU debido a la disponibilidad del gas no convencional (shale gas o fracking). (IEA, 2012)

En 1973 se consumían 1.227 bcm a nivel mundial, en 2013 ya se consumen 3.479 bcm. Las predicciones de la IEA establecen que solo China llegará a consumir 545 bcm en 2035 (en 2011 consumió 130 bcm).

Estos grandes volúmenes de gas natural hay que extraerlos, transportarlos y consumirlos y en ese proceso el turboexpander para generación eléctrica puede sin duda llegar a tener un papel importante para contribuir a mejorar la eficiencia del sector de la energía.

Hay que añadir la ventaja que el consumo de agua asociado a la generación eléctrica también se vería reducido, y esto en un planeta en el que al incrementar su población en los próximos años la presión sobre el recurso del agua dulce será más importante no es menospreciable.

En la tabla 4, se listan los principales países donde la implantación de la tecnología de los turboexpanders podría ser más interesante en base a su consumo anual de gas natural.

Tabla 4: Países con gran potencial para la instalación de Turboexpanders

Grupo 1 : 74 Twh/año		Grupo 2: 31,6 Twh/año	
Países	Twh/año	Países	Twh/año
EEUU	27,0	México	2,5
Rusia	15,9	UAE	2,5
Irán	5,9	India	2,2
Japón	4,3	Holanda	2,0
China	3,7	Francia	2,0
U.K.	3,7	Ucrania	2,0
Alemania	3,6	Uzbekistán	1,9
Canadá	3,5	Egipto	1,8
Arabia Saudí	3,3	Argentina	1,8
Italia	3,2	Tailandia	1,6
10 países	74,0	Pakistán	1,6
		Indonesia	1,6
		ESPAÑA	1,5
		Turquía	1,5
		Corea del Sur	1,4
		Australia	1,4
		Malasia	1,3
		Argelia	1,2
		18 países	31,8
Subtotal		105,8	

Para poder co-generar estos 124 TWh año, se necesitaría instalar turboexpanders distribuidos por estos países sumando una potencia de unos 14.151 Mw. Esto supone la misma cantidad de proyectos y de inversión, ya que actualmente el coste medio de esta tecnología es de 1 MME/ Mw.

La generación distribuida aporta una ventaja adicional, y es la reducción en las pérdidas de transporte de la electricidad ya que el centro consumidor estaría obligadamente cerca de la instalación generadora.

La reducción de emisiones de CO₂ anuales se estima en unos 40 MM de toneladas por año.

5. Conclusiones

El aprovechamiento de los saltos de presión para la generación eléctrica ha sido un área de interés en diversos países a lo largo de los últimos años. Se han conseguido éxitos puntuales de implantación cuando las condiciones de caudal, presión y viabilidad económica lo han permitido, sin embargo, no es una tecnología muy conocida y requiere un estudio profundo tanto desde el punto de vista técnico como económico. No obstante, tiene un futuro prometedor ya que la eficiencia energética necesaria para un desarrollo sostenible y el uso masivo de gas natural provocarán la necesidad de abrir nuevos campos en el ámbito de la generación eléctrica. El desarrollo de esta tecnología así como la ejecución de proyectos

basados en la misma permitirá reducir los costes unitarios de modo que se reducirá el plazo de amortización de las mismas.

En los últimos tres años se ha conseguido identificar más de 40 instalaciones que suman unos 120 Mw instalados contando con la experiencia y solvencia de hasta 22 fabricantes internacionales de estos equipos.

La tendencia creciente en el interés por esta aplicación se debe a diversos factores entre los que destacan:

- Tecnología “sencilla”, fiable y con poco coste de operación y mantenimiento
- Produce energía limpia
- Es una tecnología que va asociada al desarrollo de los gaseoductos
- Ocupa poco espacio
- No necesita una gran inversión (alrededor de 1000 €/Kw)

En definitiva, los turboexpanders son una tecnología no muy implantada pero que aportaría eficiencia en el sector energético, constituyendo una herramienta a considerar en proyectos de instalaciones industriales asociadas al gran consumo de gas natural.

Dependiendo de la aplicación puede aportar unos ingresos económicos por la venta de la electricidad generada, siendo muy recomendable esta forma de producir electricidad sin aumentar las emisiones de CO₂ que tanto preocupan a largo plazo.

6. Referencias

- Ardali E.K. & Heybatian E. (2.009). Energy regeneration in natural gas pressure reduction stations by use of gas turbo expander; evaluation of available potential in Iran www.igu.org National Iranian Gas Company. Obtenido el 28 de octubre de 2014 desde http://www.kgu.or.kr/download.php?tb=bbs_017&fn=wgcFinal00399.pdf&rn=wgcFinal00399.pdf.
- Bernie Watson, Dresser (2.004); *Pressure into power*, disponible en Web GasNet; <http://www.gasnet.com.br/conteudo/2578>
- Bloch H, Soares C. (2001). *Turboexpanders and process applications*. Boston: Gulf Professional Publishing
- Cryostar; disponible en <http://www.cryostar.com/web/green-energy-system.php>
- Drew Robb; (2007) *Harvesting pipeline energy to produce electricity*-Power Engineering; PennEnergy
- Energy company web; EXPANDER-GENERATOR SET WITH A RATING OF 5.000 KW Disponible en <http://www.energja.com.ua/endqa5000.html>
- Europa. EU2050 *Energy Roadmap* (2012)
Disponible en <http://ec.europa.eu/energy/en/studies>
- Hedman, Bruce A. (2.008) *Waste energy recovery opportunities for Interstate natural gas pipelines*; Gulf Coast Clean Energy; Interstate Natural Gas Association of America
- Howard C.R. (2.009) Hybrid turboexpander and fuel cell system for power recovery at natural gas pressure reduction stations; Queen’s University (Kingston, Ontario, Canada)
- IEA (2012). *Golden Rules for a Golden Age of Gas*. World Energy Outlook. Special Report

- on Unconventional Gas. International Energy Agency .Disponible en:
http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/goldenrules/weo2012_goldenrulesreport.pdf
- Kowala D. (2.009). *Using the gas pressure potential for electricity generation at pressure reduction stations*. Silesian University of Technology (SUT)
- Kostowski W. (2010) *The possibility of energy generation within the conventional natural gas transport system*. Strojarsstvo.
- Mansoor A. (2.004). Power generation opportunities in Bangladesh from gas pressure reducing stations, 3rd ICECE, International Conference on Electrical and Computer Engineering, Dhaka, Bangladesh
- Mercer, Andrew (2.010); *Under pressure: how one company is harvesting clean energy from gas pipes*.
- Nadav Enbar y Sam Jaffe, (2.010) *Best practices: Enbridge's approach to greening the natural gas t&d network via hybrid fuel cells*
- New Turboexpanders. (n.d.). Obtenido el 23 de octubre de 2014 desde <http://www.turboexpanders.com>
- Poživil, J. (2.004). Use of expansion turbines in natural gas pressure reduction stations. Acta Montanistica Slovaca, Volume 9 (2004), Number 3, pp 258-260.
- Rahman M. M. (2.010). Power generation from pressure reduction in the natural gas supply chain in Bangladesh” Journal of Mechanical Engineering, Vol. ME 41, No. 2 Transaction of the Mech. Eng. Div., The Institution of Engineers, Bangladesh, pp 89-95
- Seresht R. T., Jalalabadi H.K., Farayand Y. (2010); Retrofit of Tehran city gate station, (C.G.S., NO.2) by using turboexpander. ASME Power Conference, 207-212, 2010

