

“Amortización del costo de mejoras

en la aislación térmica de las viviendas”

Por **C. Bourges** (Ingeniero, Secretaría de Energía de la Nación, Dirección de Prospectiva) y **S. Gil** (Profesor de la Universidad Nacional de San Martín, EcyT, Secretaría de Energía de la Nación)

El propósito de este trabajo es realizar una evaluación de los costos y beneficios de mejorar la aislación térmica de los edificios destinados a vivienda.

Desde hace algo más de un lustro, la producción de gas natural en Argentina ha venido disminuyendo, mientras que su consumo no ha dejado de aumentar. El país depende fuertemente de la importación de gas, y específicamente de gas natural licuado (*LNG*). Además del esfuerzo económico que implica solventar estas importaciones crecientes, durante los meses de invierno existen importantes restricciones en el suministro de este combustible a la industria, lo cual tiene un impacto negativo en la economía. Los precios internacionales del *LNG* tienen una gran volatilidad. El abastecimiento de fuentes externas, además de costoso, no es siempre previsible. Al

mismo tiempo, hay evidencias cada vez más claras que el calentamiento global que está experimentando la Tierra tiene causas antropogénicas. Se estima que el 60% de las emisiones de gases de efecto de invernadero, GEI, son consecuencia del uso de combustibles fósiles.¹ Es prudente e imperioso que disminuyamos nuestras emisiones de gases de efecto invernadero.

El uso racional y eficiente de la energía (URE), y el aprovechamiento de las energías renovables, son dos recursos importantes, que no están siendo aprovechados en toda su potencialidad. La eficiencia permite disminuir las demandas energéticas para lograr los mismos beneficios, con lo cual se libera capacidad de abastecimiento a otros sectores de la sociedad, sin necesidad de ampliar la infraestructura existente. Por una parte se disminuyen las emisiones de GEI y, por otra, estimula el desarrollo tecnológico, capaz de generar nuevos emprendimientos, empleo y desarrollo económico.

Consumo de gas en edificios y viviendas

En la Argentina, el gas natural constituye la componente principal de la matriz energética, aportando algo más del 50% de la energía primaria del país². De todo el gas consumido, alrededor del 30% se distribuye a través de redes a los usuarios Residenciales, Comerciales y Entes Oficiales.³

Del análisis del consumo de gas natural en la Argentina^{4,5} surgen algunas características notables. Una de ellas es que el consumo específico de los usuarios residenciales, es decir, el consumo diario por usuario o vivienda,

tiene un comportamiento muy similar y regular en casi todo el país. Usamos el término usuario para referirnos a una vivienda conectada a la red. En la figura 1 se muestra la variación del consumo residencial como función de los meses para el año 2012. Los consumos medios diarios por usuario o consumo específico residencial tienen una fuerte dependencia con la temperatura. A altas temperaturas, meses de verano, el consumo de gas está asociado al calentamiento de agua y cocción. A esta componente del consumo residencial, la denominaremos *consumo base*. A medida que la temperatura baja, los usuarios comienzan a encender la calefacción, esta es la razón del gran aumento de la demanda en los meses de invierno. Es posible separar estas dos componentes del consumo.^{6,7,8} Dependiendo del año, el consumo en calefacción es del orden del 51±4 % del consumo residencial.

Los consumos residenciales (R), comerciales (C) y de entes oficiales (EO), tienen características similares, en particular son fuertemente termodependientes. Como se ve en la figura 1, en los meses de invierno, el consumo aumenta en un factor del orden de 4 o 5 en los días más fríos. Dado que estos sectores de consumo tienen prioridad de abastecimiento, esto implica, eventualmente, restricciones de suministro a otros usuarios, particularmente las industrias y las centrales eléctricas, con las importantes y costosas consecuencias.

Eficiencia en calefacción

Resulta clara la conveniencia de volver eficiente el uso de energía destinada a la calefacción en Argentina. Un menor uso del gas no solo implicaría una menor demanda de gas importado, sino que al mismo tiempo, se disminuirían los grandes picos de consumo en el invierno, lo cual mejoraría la eficiencia general del sistema gasífero y mitigaría la necesidad de realizar cortes de gas a la industria.

Varios estudios indican⁹ que, mejorando la aislación térmica de las paredes exteriores y techos con aislantes comerciales (lana de vidrio, poliuretano expandido de alta densidad, etcétera), se puede disminuir la conductividad térmica en un factor de 2 o más. Sobre todo, utilizando *diseños constructivos adecuados*.

Otra mejora importante se puede lograr en ventanas con doble vidrio o doble vidrio hermético (DVH), que alcanzan promedio una mejora importante en aislación respecto del vidrio simple. Desde luego, el uso de burletes de goma o similares puede disminuir significativamente las infiltraciones de corrientes de aire. Un factor 2 en la aislación térmica de viviendas tendría un impacto en el consumo de energía para calefacción de magnitud similar. Esta mejora en la envolvente térmica también disminuiría los requerimientos energéticos de refrigeración.

Actualmente en Argentina existe la norma IRAM 11.900 de etiquetado de aislación térmica de las envolventes. Si una vivienda convencional tipo H, según esta norma (quizás las más prevalentes en la actualidad) pasara a tipo E en la categorización del etiquetado, tomando como base una vivienda tipo⁸ de unos 70 m², su consumo en calefacción podría reducirse en un 50%.

En este trabajo, procuramos evaluar hasta qué punto conviene invertir o subsidiar una construcción más efi-

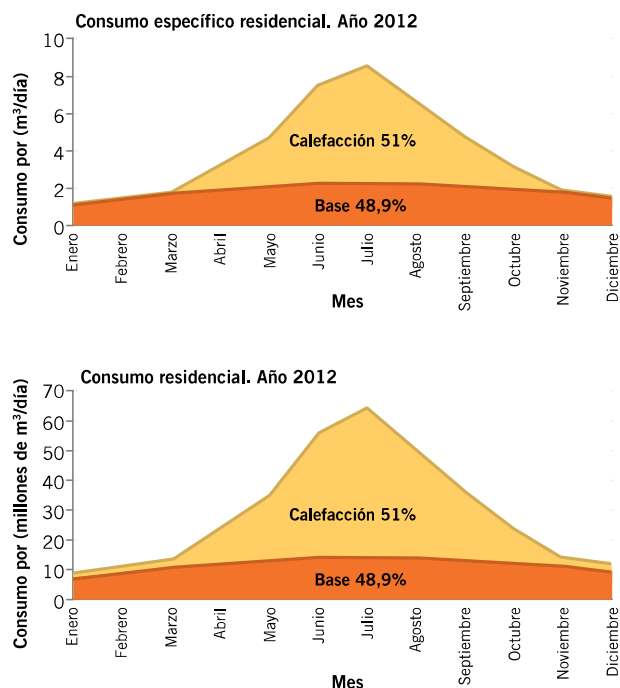


Figura 1. Variación de los consumos residenciales medios diarios por usuario o específicos (arriba), y totales (abajo), como función de los meses, para el año 2012. El incremento observado en los meses de invierno está asociado a la calefacción. Los consumos en los meses de verano están asociados al llamado consumo base, cocción y calentamiento de agua, que tiene una variación suave y previsible con la temperatura. Es posible separar estas dos componentes del consumo. Dependiendo del año, el consumo en calefacción es del orden del 51±4 % del consumo residencial.

ciente. Para ello, podemos realizar un análisis financiero, partiendo de los siguientes supuestos:

- Tomamos como referencia una vivienda individual de unos 70 m², ubicada en la provincia de Buenos Aires (zona bioclimática III Templada Cálida, según norma IRAM 11.603).
- El costo constructivo que usamos es de 1.500 U\$S/m².
- En este análisis suponemos una tasa de oportunidad del 2,5% anual en dólares.
- Suponemos un costo de gas importado de 17 U\$S/M_BTU.
- Para calcular los consumos teóricos anuales de calefacción, se sigue la metodología de la norma IRAM 11.604.
- Se proponen tres escenarios de consumo, correspondiente a tres grados de aislación térmica: baja, media y alta, clasificación que se realiza usando la norma IRAM 11.900, para la misma vivienda y corresponde a las categorías H, E y C respectivamente. En el apéndice A se describen las características de los prototipos usados.
- En nuestro análisis, no se consideran los aportes solares u otros posibles aportes pasivos.

Para cada escenario de aislación, se calcularon los consumos anuales en calefacción (ver Apéndice). Los costos energéticos correspondientes se muestran en la tabla 1.

Grado de aislación	Consumo anual calefacción (m ³ /año)	Ahorro %	Costo anual de gas (U\$S/año)
Baja	1.494	0	937
Media	871	42%	547
Alta	690	54%	433

Tabla 1. Consumo y costo de cada grado de aislación. Detalles de las viviendas se describen en el apéndice A. En la segunda columna indicamos el consumo anual de gas para calefacción, según la norma IRAM 11.604. En la tercera columna, el ahorro logrado, comparado a la casa con baja aislación térmica. La cuarta columna indica el costo del gas por año para calefaccionar las viviendas, considerando el precio del gas importado de 17 U\$S/M_BTU.

En general, las mejoras en la aislación aumentan proporcionalmente con el tamaño de la construcción en un determinado porcentaje. De hecho, usaremos este porcentaje de incremento como variable de análisis para la evaluación financiera. Tratamos de dilucidar, si en un lapso de 20 años, el incremento inicial en el costo de la construc-

ción será amortizado o no por los ahorros en energía, gas en nuestro caso.

En la figura 2 mostramos la evolución del costo de construcción y aprovisionamiento de energía para los tres grados de aislación. En este caso, se supone que el incremento en costo de construcción, para ir del nivel bajo al medio y del medio al alto, es del 3%. En este supuesto, claramente las inversiones en mejoras de la aislación térmica se amortizan. El nivel intermedio se amortiza en 6 años y el nivel más alto en 10 años.

En la figura 3, se presenta el caso en que el incremento en el costo de construcción, para ir del nivel bajo al medio y del medio al alto, es del 4%. En este caso, las mejoras de la aislación térmica para llevar la vivienda al nivel medio se amortizan en 8 años, pero para el nivel más alto, solo lo hace a los 14 años. Por lo tanto, esta última opción es solo marginalmente conveniente.

En la figura 4 mostramos el caso en que el incremento en el costo de construcción, para ir del nivel bajo al medio y del medio al alto, sea del 5%. En este caso, las mejoras de la aislación térmica para llevar la vivienda al nivel medio se amortizan en 10 años, mientras que para llegar al nivel más alto, se amortizan en 18 años.

Por último, en la figura 5 mostramos el caso en que el incremento en costo de construcción, para ir del nivel bajo al medio y del medio al alto, sea del 6%. En este caso, las mejoras de la aislación se amortizan en 13 años para el primer caso y supera los 20 años si se pretende alcanzar el nivel alto de aislación.

Los resultados, para las 4 hipótesis consideradas, se muestran en la tabla 2.

Es interesante señalar que una reducción del 54% en

Resultados				
	Grado de aislación	Bajo	Medio	Alto
Hipótesis I	Incremento costo de construcción	-	3%	6%
	Plazo de amortización	-	6 años	10 años
Hipótesis II	Incremento costo de construcción	-	4%	8%
	Plazo de amortización	-	8 años	14 años
Hipótesis III	Incremento costo de construcción	-	5%	10%
	Plazo de amortización	-	10 años	18 años
Hipótesis IV	Incremento costo de construcción	-	6%	12%
	Plazo de amortización	-	13 años	>20 años

Tabla 2. Resumen de resultados.

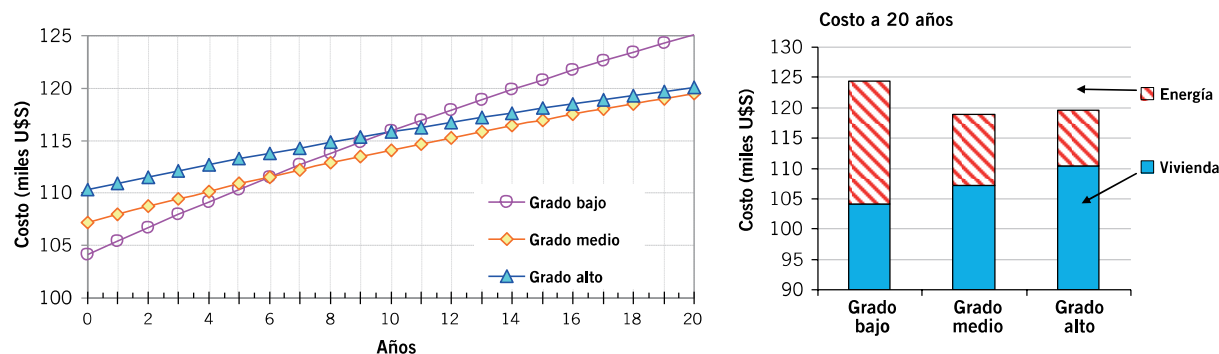


Figura 2. Izquierda, variación de los costos totales, de construcción y abastecimiento de gas para una vivienda típica con tres grados de aislación térmica (baja, media y alta). El incremento en el costo en cada caso se supone igual al 3% de costo de construcción inicial. A la derecha, se muestran los costos integrados al cabo de 20 años, para los tres casos. En este caso, vemos que los mayores costos de construcción para el nivel medio, se amortizan en 6 años, mientras que para el nivel alto lo hace en 10 años.

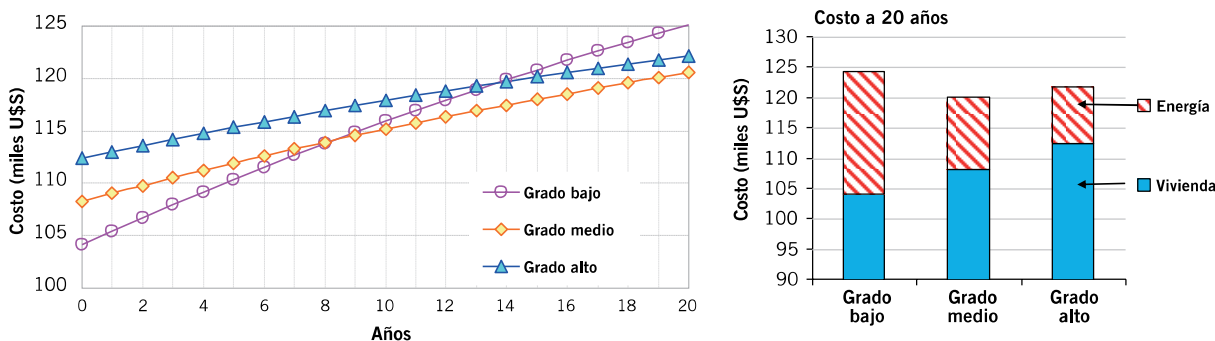


Figura 3. Izquierda, variación de los costos totales, de construcción y abastecimiento de gas para tres viviendas iguales, con tres grados de aislación térmica (baja, media y alta). El incremento en el costo inicial se supone igual al 4% del costo de construcción inicial. A la derecha, se muestran los costos integrados al cabo de 20 años, para los tres casos. En este supuesto, vemos que los mayores costos de construcción para el caso medio, se amortizan en 8 años, mientras que el nivel alto lo hace en 14 años.

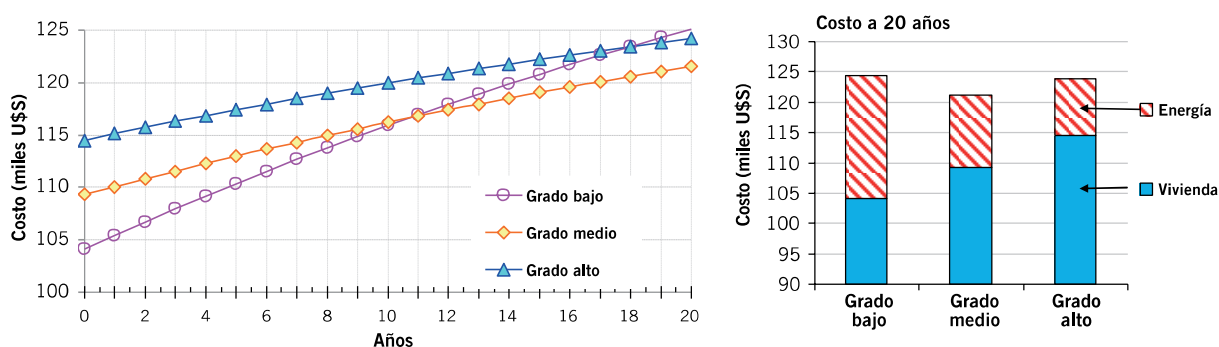


Figura 4. Izquierda, variación de los costos totales, de construcción y abastecimiento de gas para tres viviendas iguales, con tres grados de aislación térmica (baja, media y alta). El incremento en el costo inicial se supone igual al 5% de costo de construcción inicial. A la derecha, se muestran los costos integrados al cabo de 20 años, para los tres casos. En este supuesto, vemos que los mayores costos de construcción para el caso medio, se amortizan en 10 años, mientras que el nivel alto llega a amortizarse en 18 años.

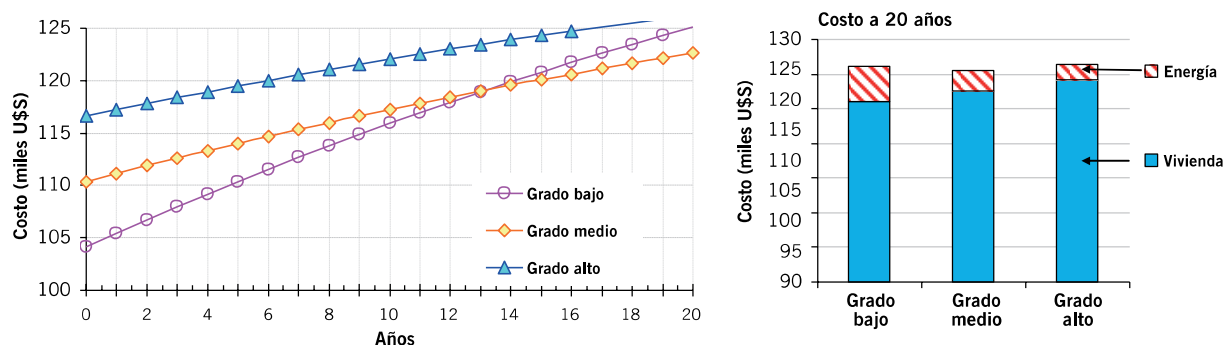


Figura 5. Izquierda, variación de los costos totales, de construcción y abastecimiento de gas para tres viviendas iguales, con tres grados de aislación térmica (baja, media y alta). El incremento en el costo inicial se supone igual al 6% de costo de construcción inicial. A la derecha, se muestran los costos integrados al cabo de 20 años, para los tres casos. En este supuesto, vemos que los mayores costos de construcción para el caso medio, se amortizan en 13 años, mientras que el nivel alto no logra amortizarse en 20 años.

el consumo de calefacción, aplicado a todas las viviendas, implicaría un ahorro de gas en los meses de invierno del orden de los 25 millones de $m^3/día$. Si solo el 50% de las viviendas realizaran esta mejora, el ahorro sería de unos 12,5 millones de $m^3/día$.

Esta disminución en el consumo atenuaría el pico de consumo en los meses de invierno (ver figura 1), liberando capacidad de gas para las industrias y la generación eléctrica. En definitiva, mejorando la eficiencia del sistema de gas en su conjunto.

Conclusiones

Desde el punto de vista de política energética, sería más ventajoso y sustentable subsidiar mejoras en eficiencia (aislación térmica) de viviendas, que continuar subsidiando la energía.

Numerosos estudios muestran que, mejorando la aislación térmica de viviendas, con las tecnologías disponibles en el mercado local, (figuras 6 y 7) es posible reducir el consumo de gas destinado a calefacción en más del 50%.

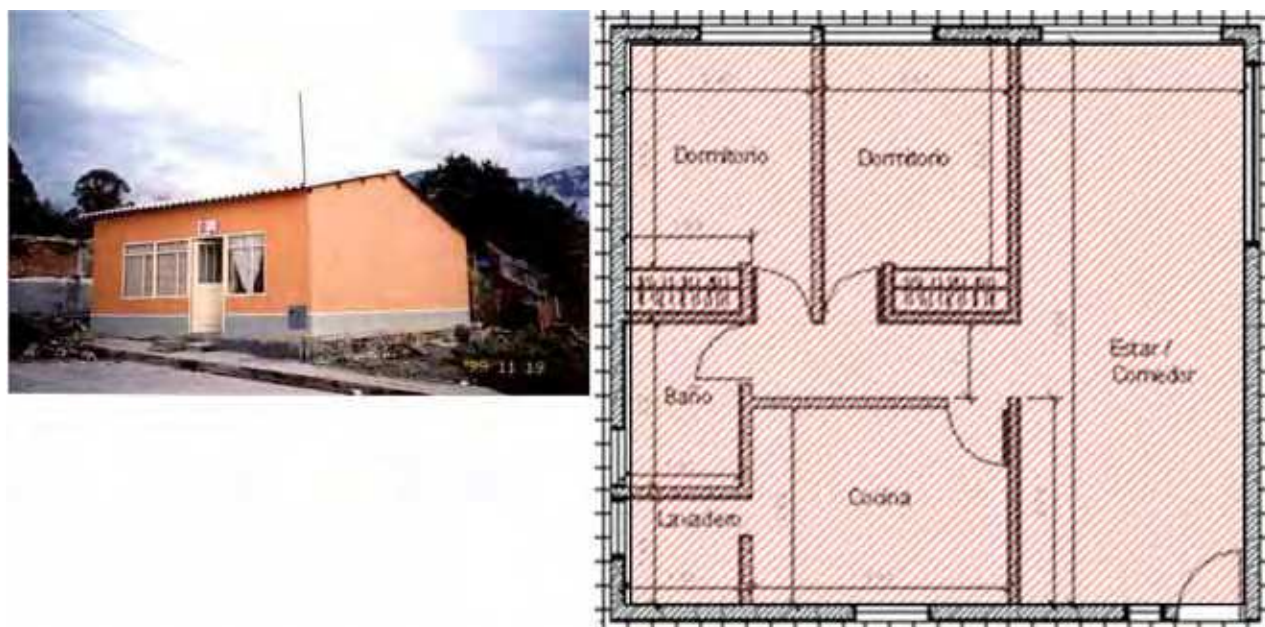


Figura 6. A la izquierda, aspecto aproximado de la vivienda. A la derecha, superficie calefaccionada. El modelo de vivienda fue tomado de la ref. (9).

Original	Mejora I	Mejora II
Ladrillo Hueco del 12 (sin aislación) e:12 h:16 l:24,6 Rt:0,26 	Ladrillo Hueco del 12 4" (101,6 mm de lana de vidrio) placa de yeso 	Ladrillo Hueco del 12 4" (101,6 mm de lana de vidrio) placa de yeso 
Ventanas vidrio simple Puerta-ventana vidrio simple Puerta de chapa y vidrio simple 	Ventanas vidrio simple Puerta-ventana vidrio simple Puerta de chapa y vidrio simple 	Ventanas vidrio doble DVH Puerta-ventana vidrio doble DVH Puerta de madera 
Teja cerámica Listones y clavaderas (sin aislación) Cieloraso de madera 	Teja cerámica Listones y clavaderas 5" (127 mm de lana de vidrio) Cieloraso de madera 	Teja cerámica Listones y clavaderas 5" (127 mm de lana de vidrio) Cieloraso de madera 

Figura 7. Soluciones constructivas de muros, techos y aberturas, aplicados a la vivienda tipo casa.

Por otra parte, si el costo de las mejoras en la aislación no excede el 3% del costo inicial de construcción de la vivienda, el subsidio a las mejoras se recuperaría en menos de 6 años (si se considera el costo de gas importado (~17 U\$/M_BTU)). Además, las mejoras en eficiencia, en particular mejoras en la aislación térmica de la envolvente, promueven una actividad económica interna que la importación de gas no hace, mejora el confort de las personas, reduce los impactos ambientales y se evitan los cortes a otros usuarios.

Desde el punto de vista del propietario de la futura vivienda, el costo de las mejoras en la aislación para disminuir a la mitad su consumo de energía en calefacción, no debería superar el 10% del costo inicial de construcción para asegurar un recupero de la inversión en un plazo razonable (20 años). Por razones similares, el máximo incremento de costo de una casa ideal de consumo cero en calefacción, no debería exceder el 20%.

Desde el punto de vista del profesional de la construcción (arquitectos, proyectistas, etcétera), el desafío es lo-

RESULTADOS	Original	Mejora I	Mejora II
Categoría (IRAM 11900)	 H	 E	 C
Carga térmica anual de calefacción (kWh) (IRAM 11604)	16.157	9.426	7.468
Consumo GN (m3)	1.494	871	690
Ahorro (%)	-	42%	54%

Figura 8. Categoría de eficiencia térmica de la envolvente según IRAM 11.900. Carga térmica anual de calefacción según IRAM 11.604, consumo de gas natural equivalente y ahorros respecto de la modalidad constructiva original.

grar incorporar las mejoras en eficiencia energética (figura 8), que reduzcan el 50% en consumo, sin superar el 10% arriba mencionado.

En términos de investigación y desarrollo, es importante dedicar los mayores esfuerzos a la disminución del costo de la eficiencia energética en viviendas y edificios.

En definitiva, la mejora en aislación térmica de viviendas y edificios es una medida altamente deseable económica, medioambiental y socialmente.

Agradecimientos: A la Ing. Alicia Baragatti por los aportes a la elaboración del trabajo, y a la Arq. Paula Bilbao que participó en la primera fase del estudio.

Apéndice A

A fin de tener una idea aproximada del ahorro de energía destinada a calefacción que puede lograrse mejorando la calidad de la aislación térmica de una vivienda, se utilizó un modelo de vivienda “tipo casa” de aproximadamente 70 m² cubiertos, ubicada en la zona conocida como Gran Buenos Aires (Zona Bioambiental III – Templada cálida – IRAM 11.603). ■

Bibliografía

Battistin E., Blundell R. y Lewbel A. Why is consumption more log normal than income? [Publicación periódica] // “Why is consumption more log normal than income? Gibrat’s law revisited,” Journal of Political Economy. - “Why is consumption more log normal

Foro de la Industria del Petróleo y del Gas

La mejor opción para
sus consultas técnicas

- Upstream
- Midstream
- Downstream
- Comercialización
- General
- Comisión de Tecnología
- Búsqueda Laboral
- Energía

www.foroiapg.org.ar

- than income? Gibrat's law revisited," *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, Vol. 117(6), págs. 1140-1154.
- Cozza, P. L. [y otros]. "Impacto de los consumos pasivos en artefactos a gas en el consumo de energía" [Conferencia] // Congreso Mundial de la Energía, Buenos Aires: [s.n.], 2010.
- Distribución log-normal [En línea] // http://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_log-normal.
- ENARGAS Normas Técnicas [Informe], 2012. www.enargas.gov.ar
- Ente nacional Regulador del Gas en Argentina [En línea] // www.enargas.gov.ar
- Europe's buildings under the microscope, A country-by-country review of the energy performance of buildings. Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*. [En línea] // http://www.bpie.eu/country_review.html, 2011.
- Gil, S. *Generalized model of prediction of natural gas consumption* [Publicación periódica] // *Journal of energy resources technology*, junio de 2004.
- Gil, S. "Modelo de predicción del consumo de gas natural en la República Argentina" [Publicación periódica] // *Petrotecnia*, junio de 1999; 03, sup. tec. 1 : Vol. XL.
- Gil, S. "Modelo generalizado de predicción de consumos de gas natural a mediano y corto plazo" [Publicación periódica] // *Gas & Gas*, 2002; 48, Vol. IV, págs. 24-30.
- Gil, S. "Posibilidades de ahorro de gas en Argentina" [Publicación periódica] // *Petrotecnia*, abril de 2009; 02, Vol. L.
- Gil, S. "Proyección de la demanda de gas para el mediano y el largo plazo" [Publicación periódica] // *Petrotecnia*, octubre de 2007; 5, Vol. XLVIII; págs. 86-100.
- Gil, S., Pomerantz, L. y Ruggero, R. "Caracterización de los inviernos según su impacto en el consumo de gas natural" [Publicación periódica] // *Petrotecnia*, septiembre de 2005; 04; Vol. XLVI; págs. 98-110.
- Gil, Salvador. "Modelo de Predicción de consumo de gas natural en la República Argentina" [Publicación periódica] // *Petrotecnia*, Argentina: [s.n.], junio de 1999; 3.
- Gil, Salvador. "Modelo generalizado de predicción de consumos de gas natural a mediano y corto plazo" [Publicación periódica] // *Gas & Gas*; 2002; 48; págs. 24-30.
- Gil, Salvador. "Posibilidades de ahorro de gas en Argentina - Hacia un uso más eficiente de la energía" [Publicación periódica] // *Petrotecnia* (Instituto Argentino del Petróleo y del Gas), abril de 2009; 2; págs. 80-84.
- Gil, Salvador y Deferrari, J. *Generalized model of prediction of natural gas consumption* [Publicación periódica] // *Journal of Energy Resources Technology*, junio de 2004; Vol. 126; págs. 90-98.
- González, A. D., Crivelli, E. y Gortari, S. "Eficiencia en el uso del gas natural en viviendas unifamiliares de la ciudad de Bariloche" [Publicación periódica] // Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, 2006, Vol. 10.
- INDEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [En línea] // *Vivienda, hogares y hábitat*. - <http://www.indec.gov.ar>.
- IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change [Informe], 2007.
- Marco Regulatorio del Gas Ley 24.076 de la Nación Argentina [En línea] // www.enargas.gov.ar; 9 de junio de 1992.
- Norma Argentina de Aislamiento térmico de edificios, IRAM 11.604 [En línea] // www.iram.org.ar; 2001.
- R. Halliday, D. Resnick, M. Krane. *Física para estudiantes de ciencias e ingeniería* [Libro]. México DF: [s.n.], 1992; Vol. I; 0613832108, 9780613832106.
- Resolución ENARGAS Nº I/615 [En línea] // http://www.enargas.gov.ar/MarcoLegal/Resoluciones/Data/R09_i0615.htm.
- Resoluciones ENARGAS I/409/2008 y Artículo 10 del Decreto 181/04 [En línea] // www.enargas.gov.ar.
- Souma, Wataru. *Universal Structure of the Personal Income Distribution* [Informe]; 2000. <http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218348X01000816?journalCode=fractals>.
- Volantino, V. L. [y otros] «Ahorro Energético en el Consumo de Gas Residencial mediante Aislamiento Térmico en la Construcción» [En línea] // <http://www.mastropor.com.ar/Novedades/07AHORRO.pdf>.

Referencias

- 1 IPCC. *International Pannel on Climate Change*. 2011. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation <http://www.ipcc.ch/>
- 2 *Balance Energético Nacional de la República Argentina*. Secretaría de Energía - marzo (2013).
- 3 *Modelo de Predicción de Consumo de gas natural en la República Argentina*. S. Gil et al. *Petrotecnia* (Revista del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas) XL, N. 03, Sup. Tecn. 1,1 - Junio (1999).
- 4 *Generalized model of prediction of natural gas consumption*. S. Gil y J. Deferrari, *Journal of Energy Resources Technology Journals of The American Association of Mechanical Engineers*.(ASME International), Vol. 126, june 2004 90-98. ISSN: 0195-0738.
- 5 *Posibilidades de ahorro de gas en Argentina - Hacia un uso más eficiente de la energía*. S. Gil, *Petrotecnia* (Revista del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas) L, N 02, (págs. 80-84), abril (2009). ISSN 0031-6598.
- 6 *Modelo generalizado de predicción de consumos de gas natural a mediano y corto plazo* I. S. Gil, et al. *Gas & Gas - Publicación para la Industria Gasífera - Año IV - Nº 48, 24-30 (2002) y IV- Nº 49 (2002)*.
- 7 *Generalized model of prediction of natural gas consumption*, Sigils et al. *Journal of Energy Resources Technology Journals of The American Association of Mechanical Engineers*. (ASME International), junio de 2004.
- 8 *Eficiencia energética: hacia un futuro sustentable*. S. Gil, *Petrotecnia* (Revista del IAPG) LIV, N3, (págs. 16-20), junio de 2013.
- 9 *Ahorro Energético en el Consumo de Gas Residencial mediante Aislamiento Térmico en la Construcción*, V. L. Volantino, P. A. Bilbao, Unidad Técnica Habitabilidad Higrotérmica – INTI Construcciones -Instituto Nacional de Tecnología Industrial, P. E. Azqueta, P. U. Bittner, A. Englebert, M. Schopflocher, Integrantes del Comité Ejecutivo de INTI Construcciones; Comisión de Trabajo URE en Edificios <http://www.mastropor.com.ar/Novedades/07AHORRO.pdf>, http://www.inti.gov.ar/construcciones/pdf/ahorros_aislamiento_termico.pdf

Sabemos controlarlo. Podemos prevenirlo.



Más de veinte años de Servicios Comprobados en el **Control de Blowouts y Firefighting** a nivel internacional con Especialistas, herramientas y equipamiento propio.

Unido a una larga experiencia, potenciada con una capacitación permanente, nos permite presentar el **Programa Risk Management SAFE WELL**, para trabajar en la prevención de estas contingencias.

Única Compañía Nacional con trayectoria Internacional en Well Control Services, las 24 hs.

Risk Management SAFE WELL Program

RIG AND WELLHEAD INSPECTIONS & AUDITS:

- Relevamientos de Equipos Torre.
- Rig High Pressure Well Control Equipment.
- Inspecciones a Bocas de Pozos.
- Auditorias de Simulacros de Surgencias en Equipos Torre.

BLOWOUT CONTINGENCY PLANS - BOCP

- Actualizaciones, confecciones y seguimientos.
- Introduccion del DIRECTORIO DE SERVICIOS Y EQUIPAMIENTOS PARA BLOWOUTS.
- Training para optimizar estos recursos.

TRAINING:

- Lockwood es acreditado por WellCAP de la IADC, para dictar los Cursos de Well Control.



Ing. Luis A. Huergo 2914
PIN - Oeste
Q8302SJR - Neuquén - Argentina
Tel.: (+54) 0299 - 4413782/4413785/4413885
Fax: (+54) 0299 - 4413832
www.lockwood.com.ar
informes@lockwood.com.ar



LOCKWOOD
La satisfacción del saber hacer

Aunque en el presente trabajo nos circunscribiremos a casos estudiados en mástiles, el método es aplicable a diversos equipos usados en la industria. Presentando equipos de *pulling*, *workover* y perforación, en algunos casos con los análisis de falla, producidos en operaciones.

Metodología

Ingeniería preventiva

La propuesta de la ingeniería preventiva es tomar medidas antes de que ocurran incidentes, defectos, fallas o accidentes, de forma tal que se adoptan medidas para evitarlas y de esta manera se reacciona antes del incidente, disminuyendo o atenuando el

efecto producido, permitiendo mitigar costos e impactos ambientales. Parte de un análisis de la relación actual entre la tecnología, la economía y el medio ambiente, entre los efectos deseados y los no deseados; y entre los valores tecnológicos y los valores humanos a la hora de analizar los resultados obtenidos. Distingue entre el enfoque convencional de la tecnología y el enfoque preventivo. El enfoque convencional es generalmente reactivo.

Ingeniería predictiva

Cuando se desea resolver un problema de forma científica, es muy conveniente tener un conocimiento detallado de los posibles tipos de investigación que se pueden seguir; este pro-

“Ingeniería predictiva y preventiva desde la gestión de seguridad aplicada a mástiles en yacimientos convencionales y no convencionales”.

Por **Dr. Ing. Julio Vivas Hohl** (GEMAT Ingeniería, Neuquén y KB Engineering S.R.L.), **Ing. Iván D. Barrientos, Lic. Marcos Garabedian** (Mantenimiento e integridad estructural de Medanito S.A.), **Dr. Gustavo Sánchez Sarmiento** (GEMAT Ingeniería, Neuquén y KB Engineering S.R.L.), **Ing. Luis Suárez** e **Ing. Thomas Murphy** (Quintana Wellpro S.A.)

Esta presentación busca mostrar que, siguiendo una determinada metodología sistemática y organizada de trabajo, diseñada con las más actualizadas normas, códigos y estándares de seguridad e higiene, es posible detectar y predecir fallas estructurales en equipos y herramientas de trabajo, así como condiciones de funcionamiento probables antes de que se produzcan.



cedimiento hace posible evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para una táctica específica.

La investigación predictiva tiene como propósito prever o anticipar situaciones futuras, requiere de la exploración, la descripción, la comparación, el análisis y la explicación. La investigación tipo pronóstico es aquella en la cual el propósito principal es “predecir” la dirección futura de los eventos investigados; consiste en prever situaciones futuras, a partir de estudios exhaustivos de la evolución dinámica de los eventos, de su interrelación con el contexto, de las fuerzas volitivas de los actores que intervienen, y del estudio de las probabilidades de que algunos de esos eventos pudieran presentarse.

En una fase experimental, se integraron distintos *softwares* que permiten en la actualidad establecer las condiciones dinámicas de funcionamiento de equipos, herramientas, estructuras y otros; determinar su vida útil y/o vida remanente. Esto permite reemplazar antes del incidente, el elemento o la parte estructural que puede colapsar en una situación anunciada a través de modelos computacionales.

Ashby y el método

Cuando se procede al relevamiento de cualquier equipo en la industria petrolera, se realiza una detallada inspección visual del equipo, con el objetivo de detectar fisuras, soldaduras en malas condiciones, zonas afectadas por corrosión (general y/o localizada), zonas con deformaciones locales. Dentro de la primera etapa, trabajo de campo (diagrama 1), se realiza la revisión de documentación técnica y antecedentes del equipo mencionado; también comprende el relevamiento metrológico y métrico del equipo para determinar el estado dimensional de la estructura, así como detectar fallas y/o deformaciones (esto es otro END). Simultáneamente, se realizan los planos y esquemas estructurales en *Autocad 2D* y *3D*, y/o *Solidworks®*, de fundamental importancia para diferenciar cualquier desviación de medidas originales y posibles lugares con defectos puntuales. Se aplican los criterios de Ashby:

- Todo material metálico se deforma antes de la ruptura (K_{IC}/σ)
- Todo material metálico se fisura antes de la ruptura (K_{IC}^2/σ)

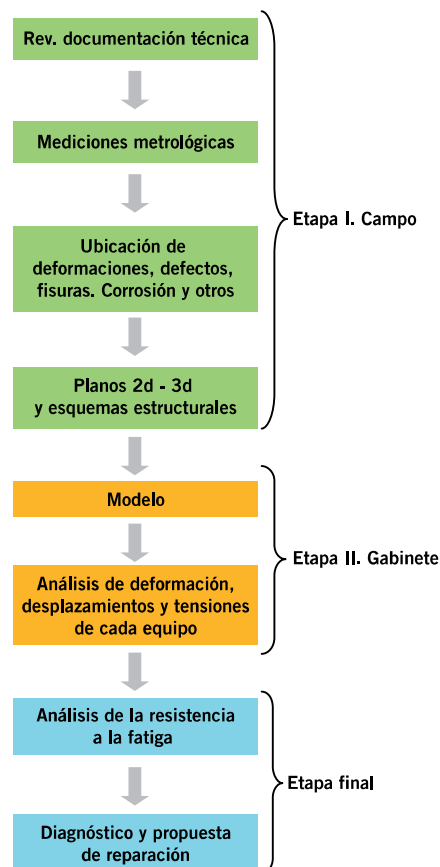


Diagrama 1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada para el estudio.

Asimismo, estos permiten realizar el modelo computacional, ya en la etapa II de trabajo de gabinete, con el que se obtiene el análisis de tensiones y deformaciones en forma **dinámica**, merced al programa de elementos finitos *Abaqus*® o *Ansys*®, con el que se realiza el estudio. Finalmente, se calcula la vida remanente del conjunto bajo estudio mediante análisis de fatiga, basados en los resultados obtenidos en el estudio dinámico realizado previamente, con el Post-procesador *fe-safe*™ versión 5.4-06. Se miden con láser todas las dimensiones del conjunto antes mencionado, aberturas y distintas diagonales y oblicuas para el análisis de deformaciones globales.

Se realiza el análisis estructural con elementos finitos, “cargando” los datos medidos en campo, y comparando resultados obtenidos en la actualidad con análisis previos.

Para tal fin, se utiliza el siguiente instrumental:

- Medidor láser Würth LM 30.
- Medidor de ángulos digital Bosch.
- Calibre 0-200mm x 0.05mm.
- Cinta métrica.
- Cámara fotográfica.
- Computadora portátil HP.

Desarrollo

Elementos finitos

Para calcular las tensiones y deformaciones de la estructura se aplica el método de elementos finitos [1], el cual consiste en dividir la estructura en pequeños elementos a los cuales se le aplica uno a uno las ecuaciones de gobierno. Esta técnica, unida a métodos computacionales y avanzados algoritmos matemáticos, brinda resultados confiables, consistentes y con un error despreciable.

Modelo computacional

Para poder aplicar un análisis de tensiones, identificando cada unión como un único “nodo”, que a la vez esté directamente relacionado con toda la estructura, se desarrolla un modelo tridimensional [1]. A cada tramo, o entre nodo y nodo, se le asigna un sección de perfiles en concordancia con las medidas y la disposición determinadas en trabajo de campo.

Tensiones equivalentes de von Mises

La máxima carga que puede soportar la estructura está determinada por el límite elástico del material. Superado el límite elástico, la deformación es permanente y se considera que el material ha fallado.

Cada tramo de los mástiles constituye un cuerpo elástico que está sujeto a un sistema de cargas en 3 dimensiones, a través del cual se desarrollan una serie de tensiones que actúan de manera local en distintas direcciones, y cuya magnitud y dirección cambia de punto a punto.

El criterio de *von Mises* es un índice que tiene en cuenta las múltiples combinaciones de las cargas que actúan sobre un cuerpo, y obtiene un índice que determina el punto o los puntos donde es más posible que ocurra una deformación permanente en

el material analizado.

En ingeniería de estructuras, se usa el criterio de *von Mises* en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles [1,2].

Casos estudiados

Mástil rumano MED 01

Mástil telescópico rumano para terminación (*workover*) y/o *pulling* de Medanito S.A., que fue relevado en la base de esa empresa. A partir de estos datos se realizaron los planos en *Solidworks* y *Autocad*, para generar los modelos computacionales descriptos en las figuras 1 y 2. El mástil fue reparado y llevado a su original carga de diagrama, con perfiles del mismo acero de alta tenacidad original del mástil.

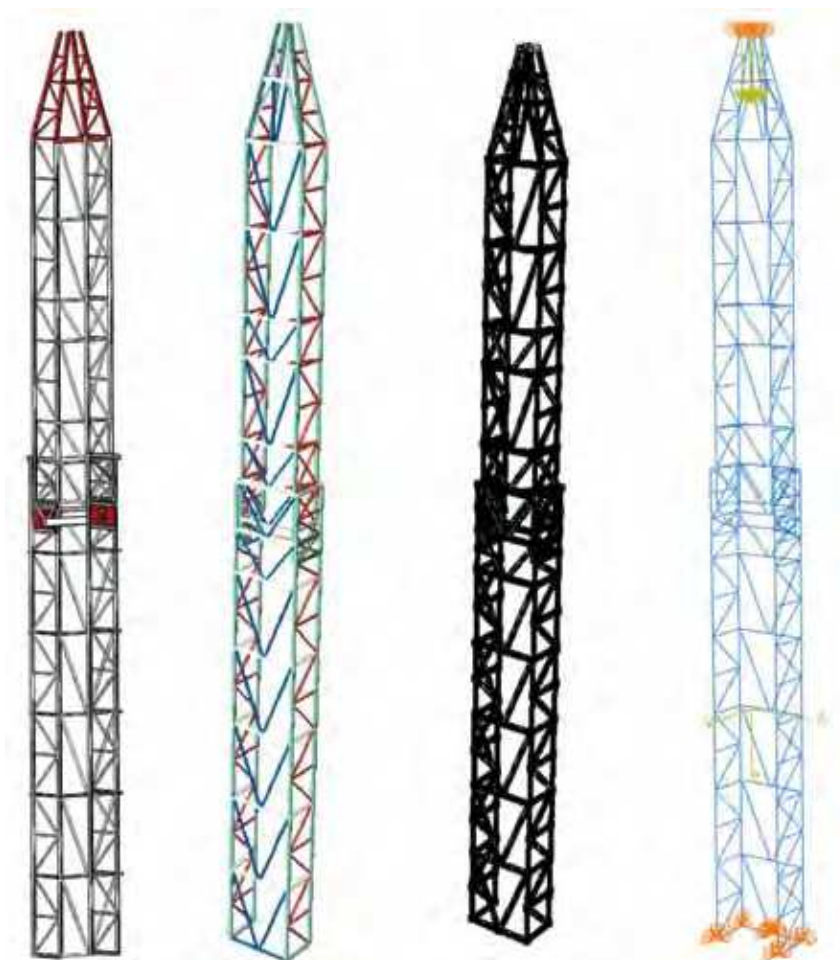


Figura 1. a-Render o representación, b-Perfiles, c- Mallado y d- Condiciones de borde.