

Tecnología en el rediseño de compresores semiherméticos de pequeñas capacidades

Durán Díaz González*

Resumen

El objetivo de este trabajo se relaciona con la tecnología en el rediseño mecánico de las piezas (cilindro, pistones, plato de válvulas, flappers de succión y de descarga) de los compresores de pequeña capacidad, en particular se muestran los resultados de la tecnología elaborada en el reacondicionamiento o rediseño del modelo L 773 a partir de piezas del Modelo L 954 de la serie PRESCOLT, encaminados a lograr en condiciones reales de explotación la capacidad standard del equipo recuperado.

Los materiales utilizados son: El cuerpo del compresor L 773 con nuevas dimensiones en el diámetro de los cilindros, plato de válvulas con la mejora del perfil de velocidades y los pistones fuera de servicio del Modelo L 954. Las otras piezas que caracterizan también el funcionamiento del compresor L 773 (bielas, pasadores, y otras) no fueron modificadas.

Este trabajo garantiza perspectivas seguras en el reacondicionamiento de compresores semiherméticos de las diferentes series que se explotan en el país.

Introducción

Los compresores recíprocos de pequeñas capacidades y en particular los compresores semiherméticos tienen una amplia aplicación en las esferas económicas más importantes de nuestro país: Turismo, industria alimenticia, servicios gastronómicos, industria farmacéutica, etc.

Las principales deficiencias y roturas de las máquinas compresoras de pequeña capacidad en las instalaciones de refrigeración, están asociadas con los siguientes aspectos[6,7]:

- Diferentes regímenes de explotación.
- Inadecuado mantenimiento.

- La no correspondencia de las capacidades instaladas y los requerimientos necesarios.
- La mala selección del puesto de trabajo donde va a ser instalado el equipo.
- Ineficiencia, mala selección o el no funcionamiento de los elementos de control en algunos casos.

Todo lo anteriormente expuesto trae consigo que el nivel de rotura sea alto. Por ejemplo, en la Ciudad de la Habana, en el año 1998, el porcentaje de rotura anual fue de 15,2%, en particular el 50 % de las roturas se relacionan con los compresores de pequeñas capacidades.

Debido a la ausencia de piezas de repuesto y al alto porcentaje de rotura, en el trabajo se propone una

*Facultad de Ingeniería Mecánica (ISPJAE)
 Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER)
 Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría
 Calle 127 s/n . Marianao, Habana, Cuba
 FAX: (537) 27 20 64; Tel: (537) 20 50 60
 E-mail: osmin@mecanica.ispjae.edu.cu

nueva vía de tecnología de recuperación de compresores semiherméticos basada en el rediseño mecánico, aprovechando las piezas que se encuentran fuera de servicio con las características técnicas idóneas que permiten la recuperación de los compresores de una misma serie de fabricación.

Problemática en la explotación de los compresores semiherméticos

El porcentaje elevado de roturas se debe fundamentalmente a la explotación de estos equipos fuera de su régimen de diseño, siendo las piezas de mayor rotura: Pistón, biela, plato de válvulas, quemado de las bobinas del motor eléctrico[6,7]

Generalmente por la mala ubicación de estos equipos en las instalaciones, la temperatura de condensación es elevada y oscila entre los 50-55 °C, lo que provoca:

- Reducción de la capacidad de frío y no se logra el objetivo propuesto de refrigeración en la instalación.
- Incremento en las presiones de trabajo.
- Incremento de consumo de la potencia eléctrica.
- Disminución del rendimiento volumétrico del compresor.

De lo anteriormente mencionado se deduce la importancia de la identificación técnica del compresor que abarca su comportamiento térmico, dinámico y mecánico, la cual es necesaria para el rediseño del compresor fuera de servicio.[1,2,3,4,5,8,9,10,13]

Identificación técnica de los compresores semiherméticos

La serie que se escoge es la PRESTCOLD, por ser la de menor % de rotura y mayor aplicación en los servicios gastronómicos y en particular el modelo L773.

Los parámetros son calculados mediante el programa de computación SICRE. [13]

Para el cálculo térmico de los parámetros fundamentales, el programa se encarga de ejecutar todos los cálculos, ya que en él se tienen implícitas todas las ecuaciones necesarias desarrolladas en las bibliografías consultadas [1,2,3,4,5,8,9,10], solamente es necesario conocer los datos técnicos que suministra el fabricante.

Condiciones para el rediseño mecánico

Aquí se aprovechan las piezas que se encuentran fuera de servicio y que cumplan con las siguientes condiciones[6,7]:

- Carrera del pistón (S) constante.
- Revoluciones de giro (n) constante.
- Diámetro del pistón mayor que el diámetro del pistón del fabricante.

Para lograr:

- Garantizar la capacidad frigorífica en condiciones reales de explotación o sea con temperatura de condensación hasta 55° C.
- Mantener o elevar el rendimiento volumétrico de diseño en condiciones reales de explotación.
- Aprovechar las características técnicas del motor eléctrico.

Resultados del rediseño mecánico

En la tabla 1 se muestran los resultados de la identificación técnica del compresor para el fabricante y la variante seleccionada.

Los datos marcados con (*) son los que no ofrece el fabricante, sino que se obtuvieron a través del programa de computación para el diseño de compresores reciprocantes [13].

Estos parámetros geométricos y térmicos obtenidos para el fabricante y la variante seleccionada muestran que en esta última se logra una disminución significativa de las caídas de presiones en las válvulas de succión y de descarga, con el consiguiente aumento del Coeficiente de Llenado (*?) y a su vez de la Capacidad Frigorífica del compresor rediseñado.

La necesidad de reducción de las pérdidas en la trayectoria del gas por el plato de válvulas se logra aumentando los diámetros de sus orificios y con ello se obtienen velocidades menores del gas en toda su trayectoria.

Esta mejora se logró en el plato de válvulas de la variante seleccionada, donde los valores de velocidades del gas son inferiores en un 13.6% en relación con los valores de velocidades en las condiciones del fabricante.

Parámetros	Fabricante	Variante
Capacidad Frigorífica (Q0) [Kw]	3.005	4.0
Calor de Condensación Teórico (Qkt) [Kw]	4.95586	6.59682
Calor de Condensación Real (Qk) [Kw]	5.24325	6.98954
Capacidad Frigorífica Específica (qp) [Kj/Kg]	98.96406	98.96406
Capacidad Frigorífica Volumétrica (qv) [Kj/m ³]	775.88433	775.88443
Flujo Másico del Refrigerante (G) [Kg/s]	0.0303645	0.0404187
Volumen Real (Vr) [m ³ /s]	0.00387299	0.00515554
Volumen Desplazado (Vd) [m ³ /s]	0.00606843	0.00681479
Potencia Indicada (Ni) [Kw]	1.53983	2.05986
Potencia Gastada por la Fricción (Nfr) [Kw]	0.24273	0.27259
Potencia Efectiva (Ne) [Kw]	1.78257	2.33245
Potencia Eléctrica (Nelec) [Kw]	2.09714	2.74406
Potencia Teórica (Nt) [Kw]	1.25244	1.66714
Coefficiente de Refrigeración Teórico (Et)	2.39931	2.39931
Coefficiente de Refrigeración Efectivo (Ee)	1.43289	1.45769
Velocidad media del Pistón (Cm) [m/s]	2.5	2.5
Diámetro del Cilindro (D) [m]	0.0555	0.0588101
Carrera del pistón (S) [m]	0.0430	0.0430
Frecuencia de Rotación (n) [r.p.s]	29.1667	29.1667
Caída de presión en la succión (*Δpo)	0.05163	0.0215
Espacio Muerto Relativo (ε)	0.03	0.015
Caída de presión en la descarga (*Δpk)	0.1	0.045
Coefficiente de Llenado (λ)	0.63822	0.7585
Coefficiente de Rendimiento Eléctrico (ηelect)	0.59721	0.60754
Coefficiente de Rendimiento Mecánico (ηmec)	0.86382	0.88313
Coefficiente de Rendimiento Indicado (ηi)	0.81336	0.80934

Tabla 1

La comprobación dinámica y mecánica de las piezas del compresor L773 rediseñado indicaron valores aceptables dentro del rango permisible, confirmándose que las condiciones de rediseño no ponen en peligro las piezas analizadas.

A continuación se muestran los resultados de los cálculos de comprobación mecánicos, del pistón y la biela, y de compensación del cigüeñal.

Comprobación mecánica del pistón

τ [MPa]	10.107
σ [MPa]	0.091
q [MPa]	0.15

Comprobación mecánica de la biela

Sección de la Biela		Variante
Vástago	Nx	5.73
	Ny	5.99
Pie	N	2.45

Comprobación mecánica del cigüeñal

Mo [Kg]	2.105
Mcp [Kg]	1.144
Icp [N]	1496.871
Ic [N]	329.294
Ml [N]	30.910

La tecnología desarrollada del rediseño del compresor PRESCOLD 773 se probó en el banco experimental de marcha forzada con resultados satisfactorios, corroborándose los resultados de la variante elaborada.

Valoración Económica de los resultados

En el mercado actual el costo de un compresor con características similares al rediseñado oscila alrededor de \$ 1900 USD, \$285 MN, mientras que esta recuperación cuesta \$ 91,19 USD y \$ 118,99 MN. Se demuestra que es rentable la realización integral de esta recuperación.

Conclusiones

Como resultado de las investigaciones teóricas y experimentales realizadas, pueden establecerse las siguientes conclusiones:

Se demostró que es posible la aplicación de este trabajo con el uso de la tecnología existente en nuestros talleres, debido a que no son procesos de elaboración complejos ni se requieren grandes recursos.

Se cumplieron los objetivos trazados en el trabajo, utilizando el rediseño mecánico del plato de válvulas y diámetro de los pistones para aumentar la capacidad del compresor recíprocante semihermético de pequeña capacidad L 773 en condiciones reales de explotación, con el empleo

de tecnologías disponibles en los talleres de mantenimiento y reparación.

Se incrementó el coeficiente de llenado en un 18.5 % de la variante seleccionada respecto al fabricante y se corroboró en las pruebas experimentales realizadas en el banco de marcha forzada para compresores de pequeñas y medianas capacidades.

El aumento de la capacidad frigorífica fue de 33.11 % , garantizando un valor por encima del valor mostrado por el fabricante para ese régimen.

El costo de rediseño muestra un ahorro considerable con respecto a los compresores en el mercado de iguales características técnicas, es aproximadamente de \$ 1808,81 USD, \$ 166,01 MN, evidenciando la ventaja de la recuperación.

Bibliografía

1. Boudiques, S. Método de modelación para la estimación del comportamiento de un compresor recíprocante. *Research Aerospace* (Francia), No. 6, 1992.
2. Chan, C.Y. Haselden, G.G: Computer - based refrigerant thermodynamic properties. Part 1. Basic equations. *International Journal of Refrigeration*, No 4, 1981.
3. Cohan Raymond, Groll, Eckland A; "Update on refrigerant compresor in light of CFC substitutes", *Boletín del Instituto Internacional de Refrigeración. IIR*, Vol 5, 1996.
4. Comparin (R.J.) Coping with noise & vibration from compressors. (English). *Inst. Refrig., Conference safe reliab. Refrig., London/Inst. mech. Engineering, GB., 1996.11.21,31-50*
5. Cu, Y. Et al. Optimización de compresores recíprocantes. *Memoria Conferencia Internacional de Compresores. Universidad Purdue. USA. Vol 4, 1992.*
6. Díaz, O., Ferrás Valcárcel, A. Incremento del coeficiente de llenado en compresores frigoríficos semiherméticos. *Revista Ingeniería Energética. Cuba. 1999.*
7. Díaz, O., Ferrás Valcárcel, A. Rediseño de compresores frigoríficos semiherméticos. *Revista Ingeniería Energética. Cuba. 1999.*
8. FORANE. Programa para el cálculo de las propiedades de los refrigerantes. *El f Atochem. Versión 2.0 a 1995.*
9. Luszczye, M. Modelo matemático de la operación de las válvulas en compresores recíprocantes. Aplicación en válvulas de lengüetas. *Memoria Conferencia Internacional de Compresores. Universidad Purdue. USA. Vol 4, 1992.*
10. Machu, E. Estudio de los elementos que componen las válvulas y su influencia en el paso del fluido. *Memoria Conferencia Internacional de Compresores. Universidad Purdue.*
11. USA. Vol 1, 1992.
12. PRESTCOLD: K,I,L,G,R. Semi - hermetic Compressors. *Catálogo técnico. England, March 1982.*
13. REI/TROP, «Thermophysical Properties of Refrigerants and Refrigerants Mixture Database, Versión 5.0, 1996.
14. SICRE. Sistema para la simulación de compresores recíprocantes. *Grupo de Instalaciones Energéticas. CETER. ISPTAE. Versión 1.0. 19*