

# Implementación de equipos de prueba en estaciones de rotores y líneas finales en compresores.

Ismael Quiroz Huerta <sup>[1]</sup>, Javier Salvador Gonzales Salas <sup>[2]</sup>, Juan Torres Flores <sup>[3]</sup>

**Resumen**— En este artículo se muestra la forma de implementación de los equipos de prueba en las estaciones de rotores y producto final en una compañía que elabora compresores de refrigeración, con el objetivo de conocer el desempeño de dicho producto. Los resultados son tomados de los equipos de prueba y analizados por métodos estadísticos para establecer la correlación con el desempeño de los compresores.

**Palabras Claves**— compresores de refrigeración, capacidad de enfriamiento, voltaje de arranque.

## I. INTRODUCCIÓN

El gran interés que se tiene en la satisfacción de los clientes en referencia a la calidad de los compresores de refrigeración, ha llevado a realizar investigaciones y desarrollos de equipos de prueba que nos permitan conocer el posible comportamiento a futuro de dicho producto. El compresor es el motor de todo refrigerador, cuyo objetivo básico en la refrigeración es transferir parte del calor de un cuerpo o un espacio, hacia un lugar donde ese calor no produzca ningún efecto negativo, de esta manera se logra establecer una temperatura deseada en ese cuerpo o espacio. Ver Fig.No.1

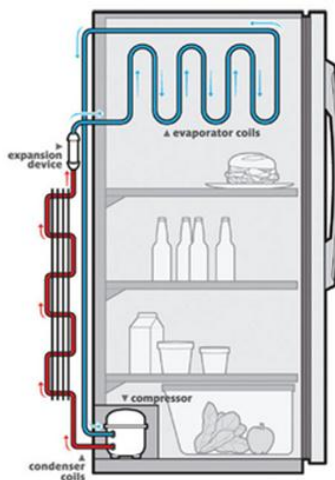


Fig.1.-Sistema de refrigeración.

[1] Alumno del posgrado maestría. : ismael.quiroz@mabe.com.mx

[2] Asesor académico. : jsgs100573@hotmail.com

[3] Asesor industria.: juan.torres@mabe.com.mx

Hoy en día debido a la competitividad en el mercado de refrigeración, es de vital importancia para la compañía, alcanzar los niveles de calidad que exigen los clientes, asimismo el buen desempeño en campo.

Dos de las partes importantes de los compresores es el rotor y estator, por lo que se implementa un equipo que nos permita analizar la calidad del inyector del aluminio (rotor) y determinar también su comportamiento contra un estator patrón.

Por otro lado una vez terminado el proceso de manufactura del compresor, se implementa un equipo de prueba que permitan determinar el desempeño del compresor. El equipo tiene la ventaja de rastreabilidad por cada compresor analizado. Una de las tendencias de la manufactura moderna es la inspección automatizada y rastreabilidad del producto. La automatización es flexible, y responde a cambios en el diseño del producto [1].

Esta herramienta nos ayuda a mejorar y controlar las operaciones de manufactura, tan sencillo como al final de una línea de producción recoger datos electrónicamente y enviar estos a una base de datos para su análisis. [2].

## II. FUNDAMENTOS

Si bien es cierto existen gran variedad de tipos de compresores, en este artículo nos enfocaremos únicamente en el tipo de compresor hermético recíprocante de un solo pistón como se muestra en la Fig.No.2

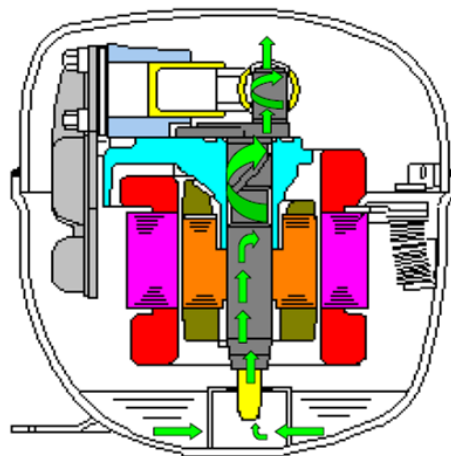


Fig.2.-Compresor hermético recíprocante.

Las tres principales características de este compresor son:

1. Capacidades fraccionarias.
2. Las partes internas no están accesibles para el mantenimiento.
3. El refrigerante y aceite de lubricación se encuentran mezclados dentro del mismo compresor.

Las partes internas del compresor se muestran en la Fig. 3. El compresor hermético de refrigeración pueden trabajar por gran tiempo sin mantenimiento y fugas de gas refrigerante, pero son sensibles a los cambio de voltaje de alimentación [3].

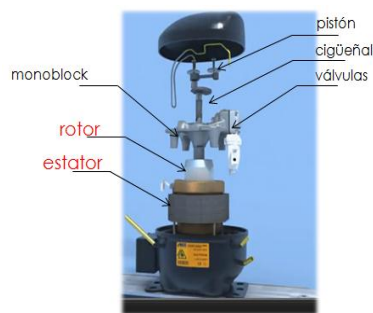


Fig.3.-Partes Internas de compresor.

Conceptos de equipo de rotores. Hoy en día existen equipos que pueden determinar la calidad de los rotores tipo jaula de ardilla, los cuales son diseñados para su uso en la industria. Este tipo de equipos están configurados para realizar mediciones inductivas y de potencia; ambos tipos de pruebas son utilizados para detectar problemas de calidad dentro de los rotores, como son: barras interrumpidas, porosidades de la inyección y "skew" deficiente en la laminación. Las mediciones inductivas y de potencia muestran una relación directa con el torque-arranque y eficiencia.

La medición inductiva es realizada por medio del giro del rotor cerca del sensor de inductancia. Como las barras del rotor se mueven a través del campo magnético una corriente es inducida en las barras del rotor. El resultante es una onda sinusoidal, en la cual un ciclo completo representa una barra del rotor. Finalmente se compara contra una onda y valores patrón. La medición de potencia utiliza un estator de prueba especial para facilitar una base de comparación en la resistencia y reactancia del rotor en prueba. Ambos parámetros determinan la capacidad del rendimiento del rotor Fig. No.4.

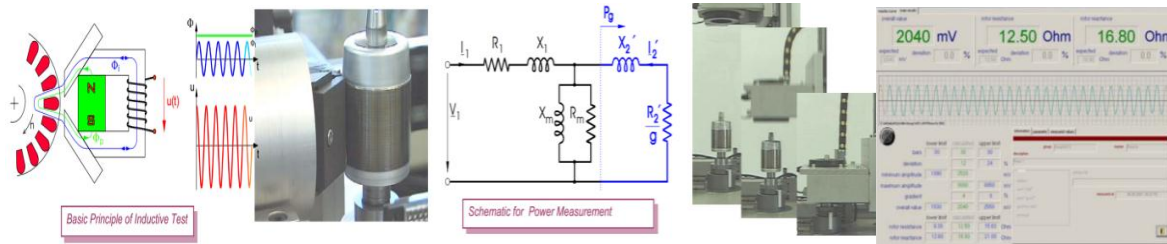


Fig.4.-Principio básico de prueba de inducción y potencia

Conceptos de equipos en compresor terminados línea final. Como se mencionó al inicio del artículo, también es necesario conocer el comportamiento del compresor terminado en líneas finales de ensamblado, siendo necesario implementar equipos de prueba que sean capaces de determinar dicho comportamiento. En este punto hablamos acerca de capacidades de enfriamiento y voltaje de arranque.

La capacidad de enfriamiento y eficiencia volumétrica del compresor, son términos semejantes y se define como la relación del volumen real del gas refrigerante bombeado por el compresor al volumen desplazado por el pistón del compresor. La eficiencia de un compresor puede variar en gran escala dependiendo del diseño del compresor y del índice de compresión. El índice de compresión es la relación que existe entre la presión de entrada al compresor y la presión de salida (presión de compresión). Este índice de compresión es mejor conocido como la relación de compresión. La presión de compresión es fácilmente medida utilizando válvulas transductores de presión, conectándolas a la presión de salida del compresor y finalmente energizándolo. A continuación se describe gráficamente la secuencia de prueba en el compresor. Fig.No5.

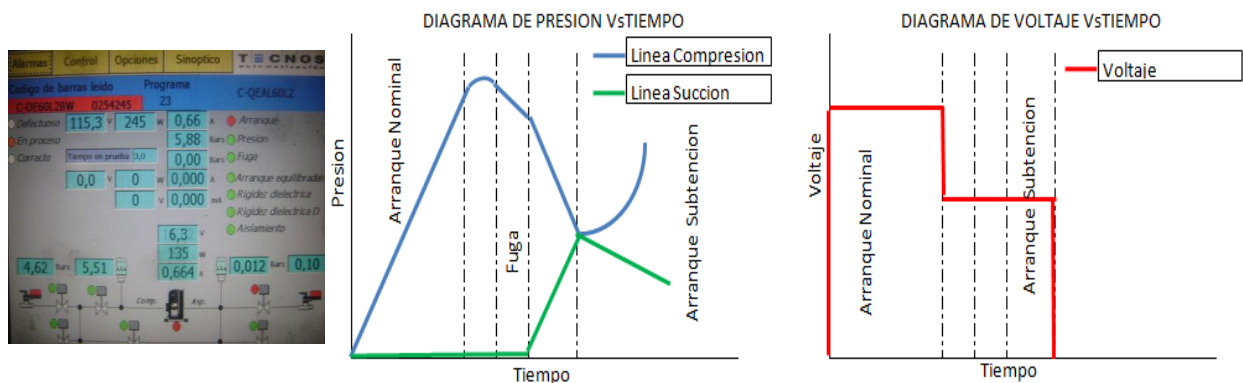


Fig.5.-Grafico de presión y voltaje en el compresor.

### III. PROCEDIMIENTO

Equipo de rotores.

Para determinar la calidad de los rotores empleados en la fabricación de los compresores, se utiliza el equipo: Rotor Quality Analyzer modelo RQA 125/SATS-2 [4].

Se realiza plan de muestreo considerando los distintos modelos de rotor fabricados y al mismo tiempo se fabricaron rotores con menor número de barras así como ángulos de barras fuera de especificación. Posteriormente todos son analizados con el equipo RQA. Los rotores son analizados del torque final en el laboratorio y se observa su relación con las variables obtenidas:

1. Amplitud de onda mV (máxima y mínima) en las ondas sinusoidales.
2. Numero de barras.
3. Resistencia( $R-\Omega$ ) y reactancia( $X-\Omega$ ) del rotor.

Equipo de compresores terminados línea final.

En este paso estamos hablando ya de compresores completamente listos para ser enviados al cliente, por lo que es necesario conocer el desempeño que tendrá éste. Las tres variables que determinan el desempeño del compresor son:

1. Capacidad de enfriamiento (Kcal/hr).
2. Consumo (watts).
3. Voltaje mínimo de arranque (Volts).

A continuación se muestra un esquema de la relación entre las tres variables anteriores con los resultados que genera el equipo de compresor terminado.Fig.No.6

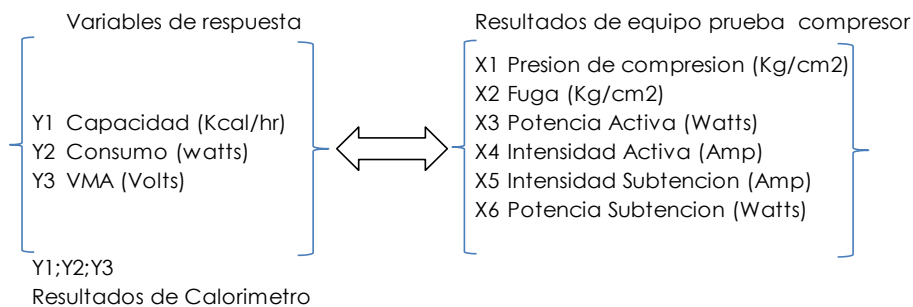


Fig.6.-Tabla de variables del desempeño vs resultados en equipo compresor terminado.

Finalmente al igual que en el equipo de rotor, se realiza un plan de muestreo de los diversos modelos de compresores terminados para determinar la correlación que existe entre las variables de respuesta y los factores (resultados en equipo el de prueba). La correlación se realiza utilizando el software Minitab [6]

#### IV. RESULTADOS Y ANALISIS.

Equipo de rotores.- A continuación se muestra la tabla de los resultados que arrojó el equipo de pruebas de rotor Fig.7. Posteriormente se tomaron los compresores más altos y bajos de resistencia y reactancia para analizar su torque Fig.8.

RESULTADOS DE EQUIPO DE PRUEBA ROTORES

No.rotor	Resistencia (R) $\Omega$	Reactancia (X) $\Omega$	No.barras n	amplitud de onda	
				minima (mV)	maxima (mV)
1	23.00	44.00	28	2520	3080
2	19.80	31.10	28	3012	3530
3	22.00	40.75	28	2750	3110
4	21.75	40.75	28	2752	3110
5	22.43	40.95	28	2632	3100
6	21.90	40.77	28	2741	3108
7	22.60	43.90	28	2540	3095
8	22.40	40.95	28	2639	3100
9	20.85	33.75	28	2919	3470
10	22.70	43.95	28	2501	3095

Fig.7.-Tabla de resultados equipo de pruebas rotor.

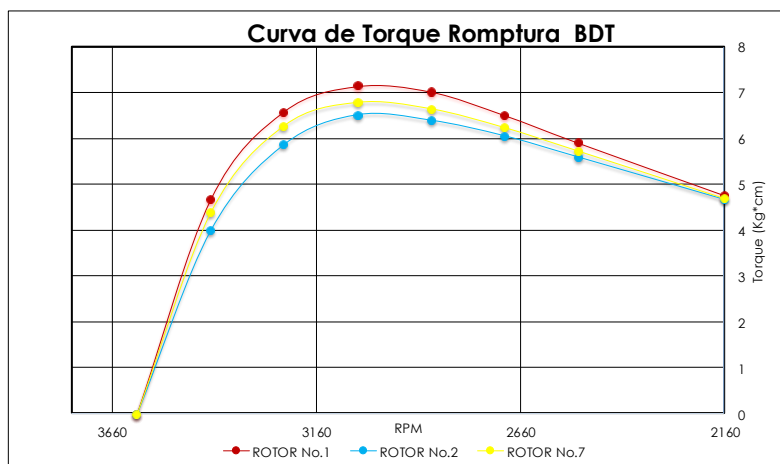


Fig.8.-Curva de BDT de rotores No.1, 2 y 7.

Equipo de compresor línea final.- Se toman 90 compresores terminados y primeramente se prueban en el equipo de pruebas finales, posteriormente se pasan a calorímetro para determinar su desempeño. Se realiza un estudio de correlación entre los datos del calorímetro y equipos de prueba, éste estudio se muestra en la Fig.No.9.

Gráficos de efectos principales.

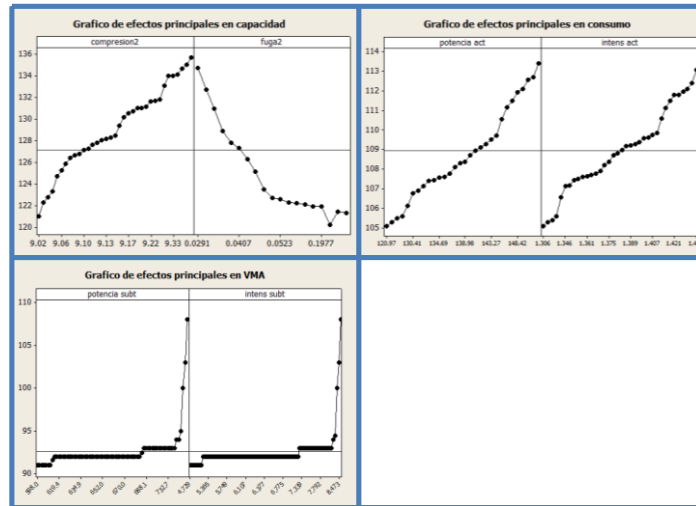


Fig.9.-Efectos principales en las variables de respuesta.

Además de establecer las correlaciones, se fijan límites de control que son necesarios para asegurar el buen desempeño Fig. No.10.

Gráficos de Matriz para límites de control.

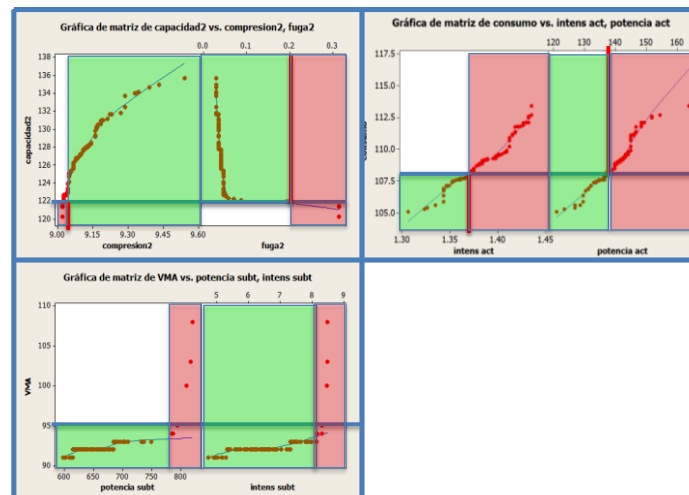


Fig.10.-Gráficos de matriz para límites de control.

En la Fig.No.11 se muestra una tabla de parámetros de prueba, límites de aceptación así como la afectación en el rotor y/o compresor.

Parametro de prueba	Unidad	Espec.	Limite		Observaciones	
			maximo	minimo		
Equipo de Rotor	Numero de barras	n	30	30	30	se contabiliza el numero de barras , cada onda sinusoidal equivale a una barra. Se detecta barra rotas atravez de la onda sinusoidal
	Minima amplitud de onda sinusoidal	mV	2650	2800	2500	Bajas amplitudes en longitudes de onda se traducen en rotores de buena calidad ( no defectos) caso contrario , amplitudes grandes significan defectivos [7]
	Maxima amplitud de onda sinusoidal	mV	3200	3400	3000	
	Resistencia	$\Omega$	23	25	21	Importante en motores de induccion pequeños el mantener valores lo mas bajo posible para guardar su eficiencia. [8]
	Reactancia	$\Omega$	40	46	34	Se observa que a mayor reactancia mayor es el torque que presenta el rotor.
Equipo compresor	Presion de Compresion	kg/cm <sup>2</sup>	9.0	--	9.0	La presion de compresion guarda una relacion directa con la capacidad. Es necesario establecer limites minimos a alcanzar por
	Fuga en linea descarga	kg/cm <sup>2</sup>	0.20	0.20	--	La fuga tiene relacion inversa con la capacidad. Fijar maximo permitido de fuga en la linea de descarga (compresion).
	Potencia activa	watts	139	139	--	La intensidad y potencia activa guardan una relacion directa con el consumo (watts) del compresor . Es necesario definir maximos.
	Intensidad activa	amp	1.355	1.355	--	
	Potencia subtencion	watts	785	785	--	La intensidad y potencia a subtencion guardan una relacion directa con el Voltaje minimo de arranque.
	intensidad subtencion	amp	8.0	8.0	--	

Fig.11.Tabla de límites de prueba.

## V. CONCLUSIONES

Previo al desarrollo de este artículo, se revisaron los distintos fabricantes en el mercado, especializados en pruebas de motores monofásicos por inducción, al mismo tiempo se definieron que características y parámetros de prueba eran necesarios medir para obtener una buena selección del producto. Al final de la revisión para el equipo de rotor se decidió adquirir el modelo RQA 125/SATS-2; y para pruebas en compresor final fue necesario hacer una integración de varios instrumentos de medición, todos en uno solo equipo, que en conjunto cumplieron las necesidades y características para las pruebas.

Con la implementación de estos dos equipos y después de un análisis estadístico, es factible saber el comportamiento que tendrá el compresor con el cliente.

Finalmente la compañía, logra mejorar drásticamente su niveles de calidad y desempeño del producto y por consiguiente la satisfacción con el cliente. Lo anterior se ve reflejado en los indicadores de la compañía, que se analizan mensualmente.



## VI. REFERENCIAS

- [1]. Manufactura, Ingeniería y tecnología, Autor Serope Kalpakjian Steven R. Schmid, Ulises rev. téc Figueroa Lópe. Pag 998. ISBN 970-26-0137-1
- [2]. Intelligent Production Machines and Systems - 2nd I\*PROMS Virtual . editado por Duc T. Pham, Eldaw E. Eldukhri, Anthony J. Soroka. Page 661. ISBN 978-0-08-045157-2
- [3]. Refrigeration System and applications by Ibrahim Dincer, Mehmet Kanoglu. ISBN:978-0-470-747-74740-7
- [4]. Deltatronic Technology Rotor Quality Analyzer : [www.deltatronic.com](http://www.deltatronic.com)
- [5]. Principios de refrigeracion Roy J. Dossat ISBN 968-26-0201-7 2<sup>nd</sup> Ed. Pag:274-278
- [6]. Six Sigma Quality Improvement with Minitab Chapter 8 : Process Experimentation with two or more factors. : G. Robin Henderson. ISBN/ASIN: 0470741740
- [7]. GB Kliman AV Mohan Rao " Broken bar detector for squierel cage induction motor ", GE Company report.
- [8]. Theory and Desing of Small Induction Motor, by Cyril G. Vernott. pag: 405 a 415