

PINTURAS REFLECTIVAS PARA AHORRAR ELECTRICIDAD EN EDIFICACIONES DE CLIMAS CÁLIDOS

Ma. Guadalupe Amado Moreno¹, Carlos Pérez Tello², Ana María Vázquez Espinoza²
¹Instituto Tecnológico de Mexicali, ²Universidad Autónoma de Baja California, México
lupitaamado@hotmail.com, cperez@iing.mxl.uabc.mx

RESUMEN

El objetivo del proyecto es evaluar el comportamiento de cuatro recubrimientos elastoméricos reflectivos comerciales como una alternativa para disminuir la ganancia de calor a través de techos y muros de sistemas constructivos en Mexicali, Baja California. Las altas temperaturas que se presentan en verano en Mexicali, Baja California, son una de las razones por las que se requiere una evaluación de la competitividad de recubrimientos elastoméricos reflectivos. Para ello se aplica la metodología desarrollada en el Instituto de Ingeniería de la UABC que permite relacionar la climatología de un lugar con el consumo y la demanda eléctricas en un edificio y así proyectar escenarios y análisis de factibilidad técnica y económica. Los comparativos entre cuatro tipos de pinturas reflectivas elastoméricas a partir de los datos obtenidos hasta julio del 2004 indican que: En cuanto a adherencia a cinco diferentes materiales, se encuentra que el cartón de yeso no permite establecer criterios objetivos al desprenderse parte del mismo material al que se adhiere y, que todos ellos presentan una muy baja adherencia en mortero cemento-arena como el que se utiliza en emplaste de muros. Las reflectancias de todos los recubrimientos analizados presentan variaciones que van desde el 30% hasta valores mayores al 90% en función de la hora del día y no ha podido establecerse aún una base sólida de comparación para decidir sin lugar a dudas diferencias estadísticas significativas confiables a partir de la información recabada.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el ahorro de energía se ha convertido en tema de constante discusión en el ámbito mundial. En el caso específico de Mexicali, lugar característico por su abrasador verano, este tema se vuelve todavía más controversial, debido a los precios de la energía eléctrica. El consumo de electricidad en una vivienda para obtener los requerimientos mínimos de confort depende de qué tan eficientemente se emplee la energía eléctrica. En este sentido, la utilización de medios y sistemas como son el aislamiento térmico y las pinturas elastoméricas reflectivas, cuyas propiedades, se pretende, reduzcan las ganancias de calor hacia el interior de edificaciones en regiones de clima extremo como la de Mexicali y su Valle, siempre serán prioritarias por varios propósitos: buscan reducir la carga térmica hacia el interior de un espacio acondicionado especialmente en la época de verano; reducir la demanda máxima en edificios que cuentan con equipos centrales; reducir el consumo eléctrico por aire acondicionado; aumentar la eficiencia de los equipos de climatización, entre otros.

En regiones como Mexicali es prioritario el uso eficiente de la energía, especialmente la electricidad. La sociedad ha venido desarrollando aceleradamente por necesidad cotidiana, una cultura de ahorro de energía que se ha visto reforzada como resultado de acciones y programas como el Fideicomiso para el Aislamiento Térmico (FIPATERM) que inició en 1990, y más recientemente el programa Ahorro Sistemático Integral (ASI), que amplió su cobertura a la sustitución de unidades de aire acondicionado de baja eficiencia por equipos de alta eficiencia en 1997, al sellado de puertas y sustitución de luminarias incandescentes por fluorescentes y,10 a partir del 2004, a la sustitución de refrigeradores domésticos de 10 o más años de uso con financiamiento federal mayormente y se ha ampliado su alcance a otras entidades federativas como Yucatán, Tamaulipas, Jalisco y Sonora. Por otra parte, la instalación de aislamiento puede ser costosa, difícil de realizar en especial cuando la construcción ha sido terminada, por lo que un recubrimiento reflectivo puede ser una alternativa viable.

De resultar una opción viable, confiable y económicamente atractiva, el empleo de las pinturas elastoméricas reflectivas impactaría positivamente a una buena proporción de la sociedad.

Mexicali se localiza a 32.63° de latitud norte y 115° de longitud oeste, en la parte norte de la península de Baja California, al nivel del mar y en una zona desértica. Por su ubicación es una ciudad de clima extremo, ya que, junto con su valle, se encuentra en una latitud donde la actividad de radiación es de las más intensas en la época de verano. Existe bastante desconocimiento de parte de la población y de los mismos técnicos y fabricantes acerca del rendimiento real que los recubrimientos reflectivos tienen como una opción de reducir ganancias de calor hacia el interior de un espacio, inclusive se promocionan algunos de estos productos como “pinturas aislantes”. Se aplicó la metodología desarrollada en el Instituto de Ingeniería de la UABC que permite relacionar la climatología de un lugar con el consumo y la demanda eléctrica en un edificio y así proyectar escenarios y análisis de factibilidad técnica y económica. La propuesta se basa en estándares, métodos y técnicas recomendadas por ASTM, así como en otras normas similares y en estudios previos realizados en el Instituto y por otras instituciones.

El objetivo planteado fue evaluar el comportamiento de cuatro recubrimientos elastoméricos reflectivos comerciales como una alternativa para disminuir la ganancia de calor a través de techos y muros de sistemas constructivos en Mexicali, Baja California. El análisis se hizo para diferentes tipos de viviendas características de la región y se aplicó el criterio de horas-grado para determinar consumo y facturación que permiten la evaluación técnico-económica de las alternativas planteadas. Los factores importantes de una cubierta reflectiva y que deben ser considerados en su desempeño son su emisividad, reflectividad, y absorptividad. La primera se relaciona con la habilidad de intercambiar energía radiante por una diferencia de temperaturas entre dos superficies, la segunda con su habilidad de reflejar un haz de luz o radiación incidente sobre su superficie; y la absorptividad, que es la energía que no rebota y se absorbe transformándose en calor.

Asimismo, algunas propiedades adicionales son tomadas en cuenta y entre ellas se encuentran la adherencia de la cubierta sobre la superficie y el color de la misma. Los colores claros reflejan una mayor cantidad de radiación incidente, los colores oscuros

presentan una mayor absorptividad. La adherencia tiene que ver con la durabilidad y estabilidad mecánica de la cubierta o pintura y la estética de la misma. Se espera que las cubiertas o pinturas exhiban buena adherencia a fin de garantizar que no se desprenda o forme burbujas con aire o vapor que demeriten la calidad de su función y su acabado final.

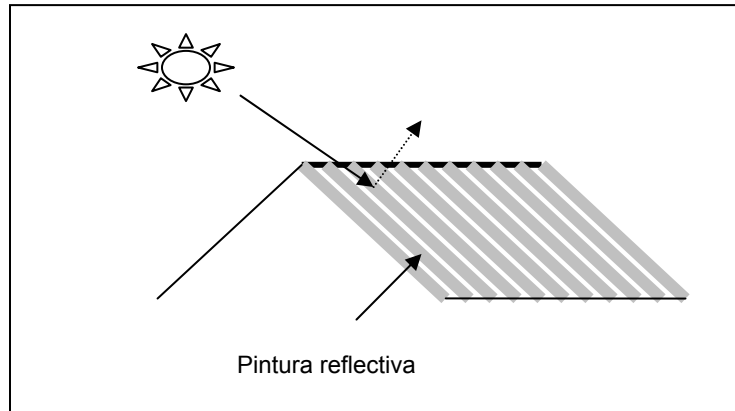


Fig. 1: Reflectividad de la superficie exterior de un techo

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se utilizaron cuatro recubrimientos elastoméricos reflectivos comerciales los cuales se encuentran disponibles en el mercado y que se emplean comúnmente en Mexicali. IMPER-FÁCIL 3 años, IMPAC 5000, THERMOTEK y AKRILTEK 3.

Con la finalidad de establecer los parámetros de referencia de las pinturas reflectivas elastoméricas se realizaron pruebas estandarizadas en el laboratorio de Sistemas Energéticos del Instituto de Ingeniería de la UABC. Durante los meses de mayo y junio del 2004 se efectuaron las pruebas de adherencia superficial y de reflectividad de los cuatro recubrimientos elastoméricos reflectivos mostrados en la Figura 2.



Figura 2. Recubrimientos elastoméricos reflectivos analizados

Adherencia

Está relacionada con la confiabilidad de cada recubrimiento para evitar su desprendimiento una vez aplicadas a una superficie. Se estableció un arreglo experimental para establecer estadísticamente la validez de los resultados obtenidos. Así, se probaron las cuatro pinturas elastoméricas reflectivas sobre cinco tipos de superficie: Cartón de yeso, madera aglomerada (petatillo), concreto, mortero, y lámina galvanizada.

En el caso del cartón de yeso se observó el desprendimiento parcial del recubrimiento celulósico del mismo lo cual impide obtener resultados confiables para establecer un comparativo real entre los cuatro recubrimientos. En la Figura 3 se presenta un resumen de las pruebas de adherencia efectuadas para los cuatro recubrimientos elastoméricos analizados en los diferentes materiales sobre los que se aplicaron. Los resultados mostrados corresponden a un tiempo de aplicación de al menos tres días, es decir, cuando el material ya había secado y logrado las condiciones de estabilidad. Puede observarse cómo el caso del mortero arena-cemento presenta la menor adherencia para todos ellos y varía desde un 25% a un 45%. La adherencia se determina colocando una cubierta adherente sobre la superficie pintada y después se desprende ésta cuidadosamente. Se miden las áreas desprendidas de pintura por esta acción y se calcula el porcentaje de la superficie con respecto a la superficie total.

Para mayor exactitud de los resultados se hace un rayado en forma de cuadrícula de cada superficie cubierta de manera que es posible contar con una mayor precisión al cuantificar dichas áreas. Cuando el sustrato es madera aglomerada todos los recubrimientos exhibieron adherencias bastante elevadas y cercanas al 100%. Sin embargo, cuando el material es lámina galvanizada dos de ellos exhiben comportamientos pobres. Cuando se coloca sobre concreto (como es el caso de una losa de un techo) existen variaciones en adherencia entre dos de ellos con respecto a los dos restantes lo que da una indicación de que al menos en estas pruebas, estos recubrimientos serían menos resistentes a la acción de la abrasión.

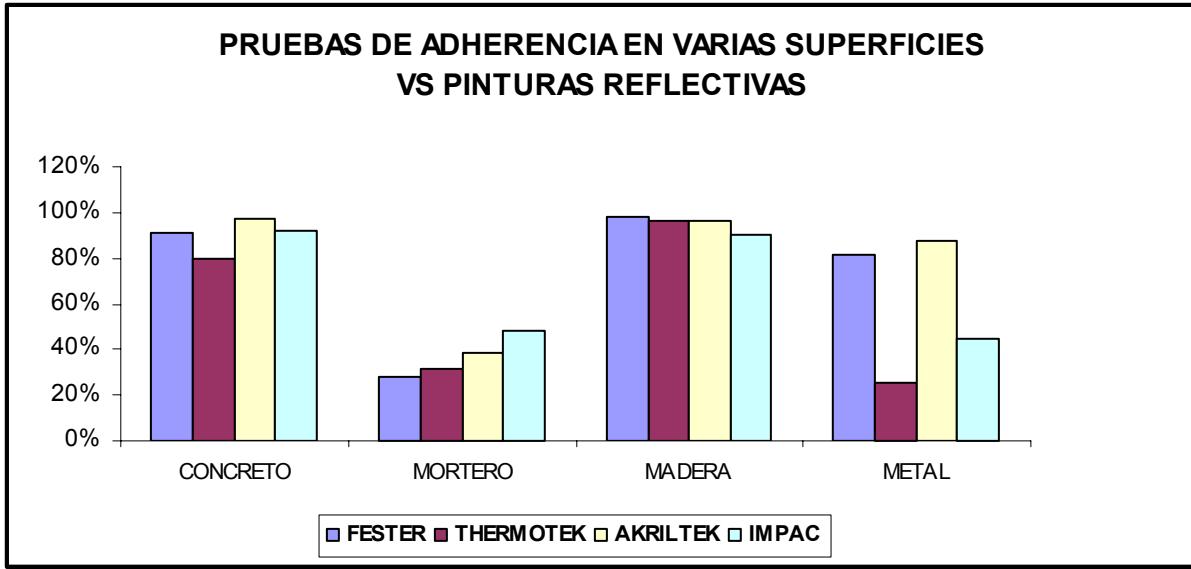


Figura 3. Resultados de las pruebas de adherencia para los recubrimientos analizados

Pruebas de reflectancia

Se realizaron pruebas de reflectancia en el mes de julio para los cuatro recubrimientos elastoméricos y durante los meses subsecuentes se determinaron índices de reflectividad utilizando un luxómetro digital marca Extech para observar el comportamiento de éstos a través del tiempo y la exposición al intemperismo. En la Figura 4 se presentan los resultados del porcentaje de reflectividad de los cuatro recubrimientos estudiados medidos en la orientación norte de los modelos.

Se observa que la reflectancia es mayor al 80% en el intervalo de tiempo mostrado. No obstante uno de ellos presenta un resultado menor. Sin embargo, es necesario recopilar aún una mayor cantidad de información antes de emitir un juicio acerca de los comparativos. La reflectancia tiene que ver con la cantidad de luz solar recibida sobre una superficie y la que es reflejada por la misma en virtud de sus propiedades ópticas.

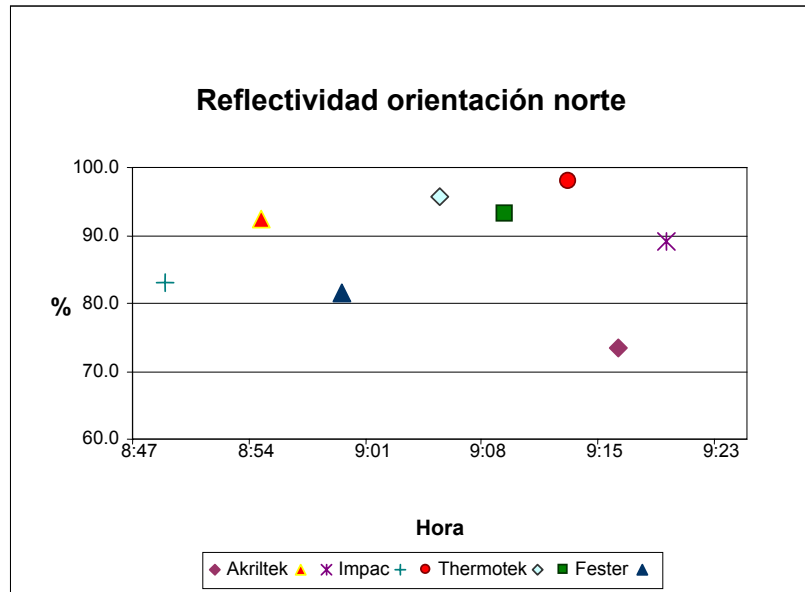


Fig. 4 Porcentaje de reflectividad de los recubrimientos analizados. Cara norte

Adicionalmente, las superficies no sólo reciben radiación solar directa sino que también incide sobre ellas la radiación difusa que proviene de todas las direcciones de la bóveda celeste y que está asociada a longitudes de onda más larga que en el espectro visible. En el presente trabajo se reportan los resultados obtenidos en el espectro visible y se observaron reflectancias en los cuatro recubrimientos elastoméricos acordes con los valores esperados para este tipo de materiales, y por encima de las reflectancias de las pinturas blancas normales. La siguiente etapa fue la de realizar pruebas de reflectividad a una longitud de onda de 365 nm en la región UV que no se han incluido en el presente trabajo pero que mostraron un comportamiento de pérdida paulatina de sus propiedades reflectivas a través de un periodo de 6 meses y que llegó a ser de un 30% en Mexicali.

Cabe mencionar que los resultados aquí presentados son para recubrimientos limpios y recién aplicados en los cuales no se ha manifestado aún el fenómeno de depositación de polvo, de desgaste por intemperismo o degradación por efecto de la radiación solar.

CONCLUSIONES

Los comparativos entre cuatro tipos de pinturas reflectivas elastoméricas a partir de los datos obtenidos en el mes de julio del 2004 indican que:

- En cuanto a adherencia a cinco diferentes materiales, se encuentra que el cartón de yeso no permite establecer criterios objetivos al desprenderse parte del mismo material al que se adhiere. Sin embargo, se observa que uno de ellos (Thermotek) presenta resultados más pobres en dos de los materiales: concreto y lámina galvanizada aun cuando en madera y concreto sus resultados son similares a los de los demás fabricantes y, que todos ellos presentan una muy baja adherencia en mortero cemento-arena como el que se utiliza en emplaste de muros.

- Las reflectancias de todos los recubrimientos analizados presentan variaciones que van desde el 30% hasta valores mayores al 90% en función de la hora del día y no ha podido establecerse aún una base sólida de comparación para decidir sin lugar a dudas diferencias estadísticas significativas confiables a partir de la información recabada.

- Los datos de reflectancia se corresponden a pintura limpia y sin que se haya depositado polvo ni sufrido efectos de pérdida de propiedades ópticas por exposición a la luz solar o al intemperismo.

- Se están realizando las mediciones de reflectividad y se tiene ya el arreglo experimental para discriminar los factores significativos en la variación de reflectancia debido a: exposición a intemperie, polvo, orientación, radiación ultravioleta y algunos resultados son:

- Las reflectividades se reducen con el polvo en un par de semanas hasta en un 20% y en seis meses después de lavadas hasta en un 40% aún sin polvo en el espectro visible e infrarrojo. En el UV su reducción fue no mayor a un 30% en todas ellas a los seis meses.

BIBLIOGRAFÍA

Pérez T. C., Campbell R. H. E., 1996, Notas del curso “Materiales aislantes y reflectivos” del diplomado en uso eficiente de la energía. UABC.

Pérez T. C., Campbell R. H. E., Velázquez L. N., García M. J., “Modelamiento de la Temperatura Ambiental en Mexicali para su Utilización en Diagnósticos Energéticos”.

CONSIDERE EL CONSUMO DE ENERGÍA AL MODIFICAR LAS DIMENSIONES BÁSICAS DEL COMPRESOR EN UNA REPARACIÓN.

Autores: Dr. José P. Monteagudo Yanes¹; Ing. Braudilio Ruiz Hernández²; e Ing. Pedro Soriano Vale².

¹ Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos. Cuba.

² Central Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes”. Cienfuegos. Cuba.

Email:

jpmyanes@fmec.ucf.edu.cu ; braudilio@ctecmc.une.cu

Resumen.

El compresor de suministro de aire para la instrumentación de una unidad de la Central Termoeléctrica, fue sometido a una reparación en la que se incrementó el diámetro de los cilindros en 2,5 mm y se sustituyeron otras piezas deterioradas, entre éstas los aros de teflón grafitado de los pistones de la máquina. Durante la puesta en marcha, se producían disparos del sistema de protección eléctrico del motor. El estudio realizado demuestra que el cambio en 2,5 mm en el diámetro de los pistones elevó el flujo suministrado en un 2,5% y aumentó la demanda de potencia a valores superiores al 6% de la capacidad del motor instalado. Constituye ésta la causa de la falla. Se seleccionó el motor y el sistema de protección eléctrica para las nuevas condiciones de trabajo observándose un comportamiento satisfactorio en la operación del último año. Hay que tomar en consideración en la explotación el incremento del costo de energía suministrado al aire de servicio a la instrumentación.

Introducción.

La reparación de los equipos dinámicos de flujo (bombas, ventiladores y compresores) se realiza atendiendo al deterioro mecánico de los mismos y en muy contadas ocasiones se tiene en cuenta el efecto energético de la reparación en el consumo de potencia. En el presente artículo se muestra como la reparación del compresor de aire destinado al suministro de aire para la instrumentación obligó al equipo técnico de mantenimiento a un mayor trabajo para explicar el sobre consumo de potencia y a cambiar el motor eléctrico para el accionamiento, por otro de mayor potencia, incrementándose con ello el costo de explotación del aire suministrado.

Desarrollo.

Durante la operación del compresor se observó una reducción del caudal de aire suministrado al sistema de instrumentación. Pruebas efectuadas a la máquina indicaban la necesidad de sustituir los aros de los pistones y revisar el estado mecánico de las camisas.

Los datos técnicos del compresor se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Datos técnicos del compresor y el motor¹

N°	Parámetro y/o dimensiones	Magnitud y unidades
1	Presión de succión	Presión atmosférica
2	Temperatura de succión	Temperatura ambiente
3	Presión de descarga	7 Kg/cm ²
4	Temperatura de descarga	210°C máximo.
5	Capacidad	4.6 m ³ /min. (a 20°C succión)
6	Diámetro del cilindro	200 mm
7	Número de cilindros	2
8	Carrera del pistón	125 mm
9	Número de efectos	2
10	Revoluciones de trabajo	562 rpm
11	Desplazamiento del pistón	8.7 m ³ /min.
12	Espacio muerto superior	(1.3 – 1.4) mm
13	Espacio muerto inferior	(1.0 – 1.1) mm
14	Aros del pistón	Carbón grafitado
15	Potencia del motor eléctrico	37 kW
16	Voltaje	380 volts
17	Frecuencia	60 Hz
18	Corriente nominal	68 Amperios
19	Corriente	Trifásica
20	Números de polos	4
21	Aislamiento	Clase E
22	Velocidad de rotación	1800 rpm

La reparación efectuada al compresor consistió en:

1. Rectificado de los cilindros hasta un diámetro de 202.5 mm
2. Sustitución del material de los aros de los pistones de carbón grafitado por teflón grafitado.

Durante la puesta en marcha posterior a la reparación se produjeron reiterados disparos eléctricos por sobre consumo de potencia. La causa de tal falla se atribuyó a una reducida holgura en la anilla de teflón grafitado usada por vez primera en esta máquina.

¹ Datos suministrado por el Departamento de Mantenimiento de la Central Termoeléctrica.

Los datos disponibles de los materiales usados en la confección de los aros de los pistones del compresor son:

- Coeficiente de fricción dinámica (μ) sobre acero de 0.028 a 0.1
- Alta resistencia ante solventes y estabilidad desde 80 a 280 °C.
- Peso específico (γ) en el orden de 2.3m kg/dm³.
- Coeficiente de expansión térmica ($C_{exp.term.}$).

$$C_{exp.term.} = De (9.9 a 20) * 10^{-5} \text{ (cm/cm}^{\circ}\text{C)}$$

En este rango de valores, la holgura (S) en el aro de teflón grafitado del pistón va desde 4.24 a 12.09 mm. Realizadas las pruebas en este rango de valores de la holgura se logró un trabajo satisfactorio del compresor desde el punto de vista mecánico, no obstante continuaban los disparos por sobrecarga. Los parámetros medios de funcionamiento durante las pruebas en las condiciones de fallas son los reflejados en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de funcionamiento del compresor durante las pruebas en condiciones de disparos por sobreconsumo de potencia.

Nº	Parámetro de funcionamiento	Magnitud/Unidades
1	Presión de descarga	5.8 Kg/cm ²
2	Presión de succión	1.0 Kg/cm ²
3	Temperatura de descarga	408 K
4	Temperatura de succión	316 K
5	Voltaje	380 volts
6	Amperaje	72 Amperes.

Se había desestimado como causa de la falla el incremento de 2.5 mm en el diámetro de la camisa del pistón por considerar que ello era despreciable en el incremento del consumo de potencia. Se decidió estudiar la magnitud del incremento del consumo de potencia por esta razón y proceder a la toma de decisiones a partir de estos resultados.

Procedimiento de Cálculo.

1. Cálculo del caudal volumétrico(Q) en función de las dimensiones físicas del compresor.

$$Q = Z_p * i * A * L * N * \eta_{vo.} \quad [1]$$

Donde:

Q.- Flujo volumétrico (m³/min.)

Z_p.- Número de pistones

i.- Número de efectos (simple o doble)

A.- Área del pistón (m²)
 L.- Carrera del pistón (m) o (mm)
 N.- Velocidad de rotación (RPM)
 η_{vo} - Rendimiento volumétrico

1.1.- Calculo del rendimiento volumétrico. (η_{vo})

$$\eta_{vo} = 1 - \varepsilon [(P_2/P_1)^{1/n} - 1] \quad [2]$$

en la cual:

ε - % del volumen de clarencia.
 n.- Exponente politrópico.

Para los compresores reciprocantes con enfriamiento intenso, el proceso puede considerarse isotérmico (n=1). Ello solo ofrece el comportamiento teórico del compresor, para el comportamiento real se determina el exponente politrópico a partir de la expresión [3]

$$P_2/P_1 = (T_2/T_1)^{n/n-1} \quad [3]$$

Aplicando logaritmos y despejando el valor del exponente politrópico (n) se obtiene la expresión [4].

$$n = \frac{\log P_1 - \log P_2}{[(\log T_2 - \log T_1) - (\log P_2 - \log P_1)]} \quad [4]$$

Para este tipo de compresor la literatura² considera los procesos de compresión y expansión politrópica con valores medios del exponente (n) en el rango de (n = 1.2 a 1.35) para los gases biatómicos. El medir los valores de la presión y la temperatura antes y después de la compresión permite determinar el valor real del exponente politrópico (n).

1.2. Calculo del % del volumen de clarencia. (ε).

$$\varepsilon = (V_o/V_p)*100 \quad [5]$$

En la ecuación [5]

V_o - Volumen de clarencia real (m).
 V_p - Volumen de desplazamiento del pistón (m)

El volumen de desplazamiento del pistón queda determinado por la expresión [6].

² Cherkasski V. M. Bombas, Ventiladores y Compresores. Editorial MIR, Moscú. 1986. URSS. Pág. 318.

$$V_p = \pi * D_p^2 / 4 * L \quad [6]$$

Donde:

D_p .- Diámetro del pistón (m)

El volumen de clarencia se calcula por la expresión [7]

$$V_o = \pi * D_p^2 / 4 * C \quad [7]$$

En la expresión [7], **C** es la clarencia (m).

La Literatura³ recomienda que la clarencia (C) se encuentre según la expresión [8]

$$C = 0.005L + 0.5 \text{ (mm)} \quad [8]$$

La ecuación [8] permite verificar el valor medido realmente en el compresor y además que puede ser usado el % de volumen de clarencia calculado por la expresión [5] en el cálculo de la eficiencia volumétrica dada por la ecuación [2]. Sustituyendo los valores obtenidos de la secuencia de cálculo dados hasta la ecuación [8] en la ecuación [1] se obtiene el caudal suministrado por el compresor antes y después de la reparación.

2. Cálculo del consumo de potencia del compresor. (N_{comp}).

Considerando la compresión isotérmica la potencia consumida en el proceso de compresión se determina por la expresión [9].

$$N_{isotérmica} = \frac{P_1 * V_1}{60 * 102 * \eta_{isot}} * \ln \frac{P_2}{P_1} \quad [9].$$

El rendimiento isotérmico se asume en el rango $\eta_{isot} = (0.65 - 0.85)^4$. El valor máximo de 0.85 se toma para equipos con un buen enfriamiento. La potencia requerida del motor se calcula por la expresión [10].

$$N_{motor} = 1.15 \frac{N_{isotérmica}}{\eta_m * \eta_t} \quad [10]$$

El valor del rendimiento mecánico (η_m) y el rendimiento de la transmisión (η_t) se toma de máquinas similares en el rango de valores de:

$\eta_m = 0.85$ para compresores pequeños con alta relación de compresión.

³ Chlumsky Vladimir. Reciprocating and rotary compressors. SNLT. Praga 1965. Czechoslovakia. Pag. 57.

⁴ Cherkasski V. M. Bombas, Ventiladores y Compresores. Editorial MIR, Moscú. 1986. URSS. Pág. 318.

$\eta_m = 0.96$ para compresores grandes con baja razón de compresión movidas directamente por el motor.

La eficiencia de la transmisión por polea – correa (η_t) va de 0.92 a 0.98. Para el caso estudiado se consideró:

$$\eta_m = 0.93 \text{ y } \eta_t = 0.97$$

Dado que el comportamiento isotérmico del proceso es ideal, se calcula el consumo de potencia del compresor para una compresión politrópica N_{polit} con ($n > 1$) según la ecuación [11].

$$N_{polit} = \frac{n}{n-1} * \frac{P_1 * V_1}{102 * 60 * \eta_{polit}} * \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad [11].$$

La potencia consumida por el motor se calcula según la expresión [10] considerando en el numerador la potencia politrópica. Son igualmente validas las consideraciones del rendimiento mecánico y el de la transmisión.

La comprobación del consumo de potencia del motor a partir de las lecturas de los parámetros eléctricos se determina por la ecuación [12].

$$N_{elect.} = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi \quad [12].$$

Resultado de los Cálculos.

La secuencia de cálculo precedente se aplica al compresor objeto de estudio y los resultados que se muestran en la Tabla 3. Los datos para el procesamiento son dados en las tablas 1 y 2.

Tabla 3. Resultados del cálculo.

N°	Magnitud	Representación	Valor - Unidades
1	Volumen de desplazamiento del pistón	V_p	0.003925 m^3
2	Volumen de clarencia	V_o	0.000044 m^3
3	Clarencia calculada	C	1.125 mm
4	Por ciento de volumen de clarencia	ε	1.12 %
5	Exponente politrópico	n	1.2
6	Rendimiento Volumétrico	η_v	96%
7	Caudal del compresor para dimensiones	Q_1	8.38

	originales.		m ³ /min.
8	Caudal del compresor para incremento del diámetro del cilindro en 2.5mm	Q ₂	8.60 m ³ /min.
9	Incremento del caudal	ΔQ	0.22 m ³ /min.
10	Por ciento de incremento del caudal por incremento del diámetro del cilindro.	%ΔQ	2.62 %
CONSUMO DE POTENCIA PARA COMPRESIÓN ISOTÉRMICA CON DIÁMETRO ORIGINAL DEL CILINDRO DEL PISTÓN			
11	Potencia para compresión isotérmica.	N _{isotérmica}	28.86 kW
12	Potencia al freno del compresor para compresión isotérmica.	N _{eje}	32 kW
13	Potencia del motor eléctrico a partir de los datos eléctricos.	N _{eléctrica}	36.7 kW
14	Potencia al freno del motor eléctrico a partir de los datos eléctricos y rendimiento del motor de 0.87	N _{eje}	32 kW
CONSUMO DE POTENCIA PARA COMPRESIÓN ISOTÉRMICA CON INCREMENTO DEL DIÁMETRO DEL CILINDRO DEL PISTÓN			
15	Potencia para compresión isotérmica.	N _{isotérmica}	29.58 kW
16	Potencia al freno del compresor para compresión isotérmica.	N _{eje}	33 kW
17	Potencia del motor eléctrico a partir de los datos eléctricos.	N _{eléctrica}	39.29 kW
18	Potencia al freno del motor eléctrico a partir de los datos eléctricos y rendimiento del motor de 0.87	N _{eje}	34.18 kW

Nota: Resultados semejantes se obtienen si se considera la compresión politrópica y el valor del exponente politrópico $n = 1.2$

Conclusiones

1. En la reparación de los compresores resulta necesario calcular los cambios en los consumos de energía si se modifican las dimensiones básicas del equipo.
2. La secuencia de cálculo expuesta permite determinar el incremento del consumo de potencia al aumentar el diámetro de la camisa del pistón. Un incremento en 1.25% del diámetro incrementa el consumo de potencia en valores cercanos al 6%.
3. Comparando los datos 14 y 18 de la tabla se puede apreciar que al motor eléctrico se le solicitaban 2.18 kW de potencia por encima de su capacidad nominal, lo que provocó disparos reiterados del sistema de protección.
4. La comprobación de los cálculos termodinámicos, con los resultados eléctricos medidos y la cercanía en los valores obtenidos por ambos métodos permiten afirmar que la causa de los disparos eléctricos es provocada por el incremento del diámetro de la camisa del pistón.

Bibliografía.

1. Chlumsky Vladimir. Reciprocating and Rotary Compressors. SNLT. Prague. 1965. Czechoslovakia.
2. Cherkasski V.M. Bombas, Ventiladores y Compresores. Editorial MIR. Moscú. 1986. U.R.S.S.
3. Ramos Páez Néstor. Bombas, Ventiladores y Compresores. Editora ISPJAE. La Habana. 1995. Cuba.