

# ANEXOS

## **Anexos**

### **ANEXO A**

#### *Diagnostico*

Para entender un poco mejor el funcionamiento de esta Máquina Falex n°1 en particular, hay que explicar un poco su pasado. Dicha máquina originalmente se encontraba fuera de servicio en el laboratorio de Lubricación y Desgaste de la Universidad Central de Venezuela, de allí pasa a las instalaciones de la empresa Plasmatec Ingenieros C.A. para ser reparada y reacondicionada para la realización de un trabajo de grado cuyo tema era el desgaste de cilindros de compresores realizado por De Santa Anna y Scagni en el 2007. Entre las reparaciones se incluyó la instalación de una nueva celda de carga y la puesta a punto del equipo basándose en la norma de calibración D - 2714 88. Los detalles sobre los trabajos realizados a la máquina así como los datos de la puesta a punto se encuentran en dicho trabajo de grado.

En el momento del planteamiento de esta tesis la Máquina Falex se encontraba en las instalaciones de la empresa Plasmatec Ingenieros C.A. antes mencionada, almacenada por partes en distintos lugares de dicha empresa. Con ayuda del personal pudimos reubicar todas las partes, para así disponernos a realizar la movilización a su lugar de inicio en la Universidad Central de Venezuela.

#### *Puesta en marcha*

Luego de numerosos viajes para lograr sincronizar las dos instituciones y obtener los permisos necesarios, se escoge el Laboratorio de Desgaste y Lubricación de la UCV como el sitio ideal donde originalmente se ubicaba la Máquina Falex, y se procede a realizar su traslado e instalación, pero debido a que la máquina tenía muchos años fuera de servicio y no pudimos encontrar a

alguien que conociera como iba conectada inicialmente, nos vimos a la tarea de realizar una nueva instalación:

1. Limpieza del Laboratorio de Lubricación y Desgaste.
2. Instalación de un nuevo tendido eléctrico con corriente 220v bifásica. Para esto fue necesario coordinar con los trabajadores de la Facultad de Ingeniería y buscar los permisos para la realización de dicha instalación.



Figura 1. Máquina Falex en Laboratorio de desgaste y lubricación

3. La Instalación de un sistema de 6 convertidores en paralelo (Figura 2) para suplir a la maquina con corriente 220v monofásica, ya que en el país no se trabaja con ese tipo de corriente y es necesaria para el adecuado funcionamiento de la misma. El motivo de esta disposición se debe a que en el momento sólo se disponía de 6 convertidores pequeños y no de uno de mayor tamaño, que pudiera lidiar con los altos amperajes que necesita el equipo.



Figura 2. Instalación de Sistema Eléctrico para Máquina Falex

Una vez instalada se realizó otra prueba de calibración para ver si la maquina había sufrido algún tipo de averías durante el traslado. Dicha prueba fue exitosa, garantizando así que la maquina estaba funcionando correctamente.

Es importante también destacar que durante las pruebas realizadas en este trabajo de grado, la maquina sufrió dos averías las cuales reparamos:

1. Celda de calentamiento: presentaba un problema de corto circuito, el cual solucionamos con un arreglo de Relays (Figura 3), el cual permitía la utilización de corriente 110v de una fase distinta a la de la máquina (protegiéndola). De esta forma el termostato de la máquina continúa accionando el calentador y no se produce el cortocircuito que impedía el calentamiento de la celda y que presentaba además un riesgo a la salud ya que operaba con corriente 220v bifásica.

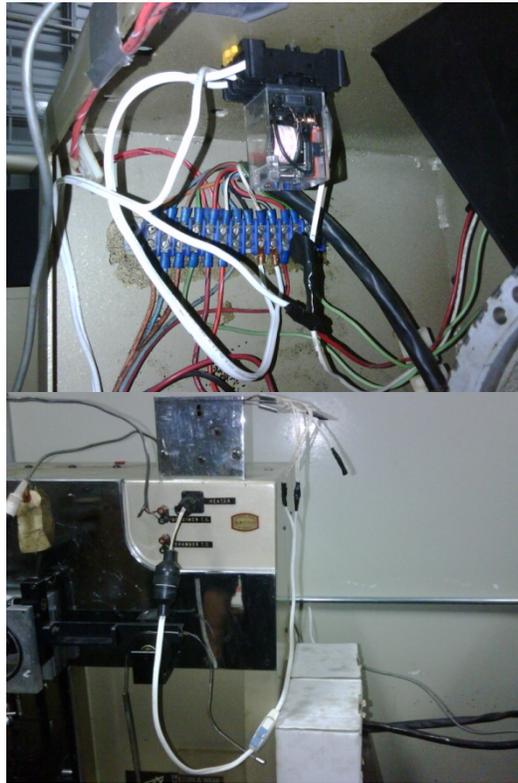


Figura 3. Instalación de relays para celda de calentamiento

2. El dispositivo de montura: este actúa con un tornillo que empuja un pistón en una disposición perpendicular, el cual a su vez sujeta al bloque durante el ensayo (Figura 4). Dicho sistema no era el original, sino uno hecho por el personal de Plasmatec Ingenieros C.A. y debido al uso se había aislado y no realizaba su correcta función de apriete. Es por esto que nos vimos a la tarea de fabricar uno nuevo.



Figura 4. Tornillo pasador de apriete para montura de bloques

#### *Mantenimiento.*

Se realizó un mantenimiento preventivo a todas las partes de la máquina Falex, cambiando el aceite luego de 4 pruebas, chequeando en cada prueba los niveles de aceite.

## **ANEXO B**

En este anexo se entrará en detalle sobre los ensayos preliminares que condujeron al cambio del par tribológico.

### **B.1 Materiales y Métodos**

Ya que todos los datos relacionados con la fabricación de los bloques ya está siendo mencionada en el punto lñkjnefgñe, en este anexo solo se explicará el proceso de fabricación de los anillos.

Como material base se utilizó acero AISI 1020 igual que en los bloques. El recubrimiento es conocido comercialmente como Babbit, el cual es utilizado extensamente para la fabricación de cojinetes de deslizamiento. Su composición química es:

Tabla 1. Composición química del Babbit:

Sn	Estaño	90 %
Sb	Antimonio	7 %
Cu	Cobre	3 %
Pb	Plomo	impureza

#### *Torneado*

Para la fabricación de los anillos se utilizó acero AISI 1020 como material base para luego ser rociado térmicamente. El acero AISI 1020 presenta como características una alta maquinabilidad, bajo costo y la rigidez necesaria para soportar las cargas que implican este ensayo, por lo que su aplicación resulta ideal.

El proceso de torneado fue realizado en un torno paralelo CNC convencional marca Fulland (Taiwanés, 1995), empleando cuchillas de carburo de tungsteno. La velocidad de giro fue de 1500 rpm con un paso de 0.08 mm/rpm.

#### *Montura de los anillo*

Fue necesaria la realización de un dispositivo reutilizable que sujetara los anillos durante los procesos de granallado y termorociados. Dicho dispositivo fue torneado en el taller de mecanizado de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV (Figura 5).

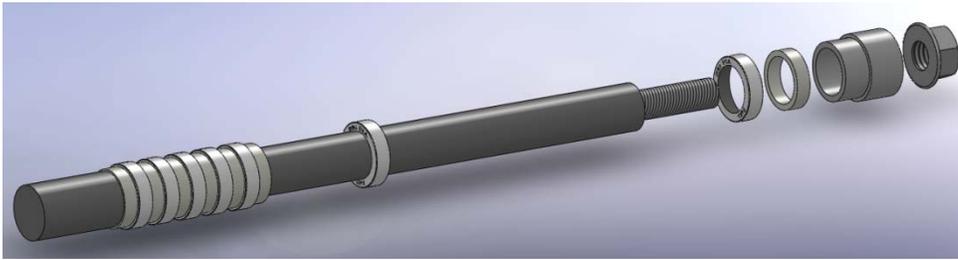


Figura 5. Diseño de montura de anillos en software Solid Works

La montura fue protegida en ciertas zonas con láminas de bronce, para que no sufriera daños durante el granallado ni el termorociado. También se aplicó con brocha una capa de anti adhesivo en las zonas donde no se quería que el recubrimiento quedase permanentemente.

#### *Limpieza superficial y decapado mecánico*

Los anillos fueron desengrasados con un producto industrial a fin de eliminarles las impurezas superficiales presentes. Posteriormente fueron sometidos a un proceso de secado con llama propano-oxígeno y finalmente sometidas a un proceso de limpieza mecánica (arenado), el cual consiste en rociar abrasivo con alta presión para obtener una superficie con mayor rugosidad, la cual es propensa para la adhesión de las partículas semifundidas que proyecta la pistola de plasma durante el rociado térmico. Se utilizó como abrasivo partículas de alúmina electro-fundida de diámetro de partícula 1-3 mm.

#### *Colocación del adherente*

Luego se le añade una capa de adherente de Bronce-Al, que actúa como una capa de enlace entre el material base y el recubrimiento de Babbit, mejorando la

cohesión y disminuyendo el riesgo de desprendimiento. Para su aplicación la pieza fue precalentada hasta 100°C. La aplicación se realizó con el mismo equipo con que se depositó el Babbit.

#### *Rociado por Arco Eléctrico de Babbit*

El rociado del adherente se realiza a través del equipo de Arco Eléctrico, con una pistola Tafa 8830. Los parámetros para la aplicación fueron:

Tabla 2. Parámetros para la aplicación del Babbit

Voltaje	22 V
Amperaje	180-200 Amp
Presión de atomización	65 Psi
Distancia de rociado	160-180 mm
Diámetro del alambre	2 mm

El proceso de recubrimiento se realizó hasta llevar el diámetro exterior a 0,8 milímetros sobre la medida estándar de los anillos para luego ser rectificadas.

#### *Maquinado y Pulido.*

Las probetas fueron torneadas llevándolas a la medida estipulada por la norma ASTM G 77- 83, la cual es de  $34.99 \pm 0.025$  mm, luego se procedió a pulirlas con una lija fina para lograr un acabado homogéneo y garantizar que todas tuviesen la misma rugosidad superficial.

## B.2 Procedimiento del Ensayo

### *Análisis previo*

Como se explicó anteriormente se realizó el rociado térmico de 81 bloques con R-10 y 54 anillos con Babbit. Pero se habían previsto tres pruebas adicionales con el par mencionado anteriormente, para definir cuáles serían los parámetros de los ensayos. Es por esto que el número total de bloques era en realidad 84 y 57 para los anillos.

Las variables a definir eran: la carga, la temperatura del lubricante, velocidad de giro del eje (RPM) y duración del ensayo. Una de las variables más importantes a la hora de definir dichos parámetros es el tipo de lubricación, pudiendo ser límite o hidrodinámica. Los patrones de desgaste que producen cada tipo de lubricación son muy distintos, incluso se podría hablar de un tercer tipo, que sería la zona de transición entre una y otra. Dicha variable es afectada a su vez por:

1. El esfuerzo o presión ejercida entre las dos superficies: este está a su vez relacionado con el área de contacto. Debido a que en este tipo de ensayos el área varía con el tiempo a medida que las superficies se desgastan, resulta sumamente difícil predecir cuál será el patrón de desgaste para poder así estimar el área en un momento dado del ensayo y luego estimar nuevamente el esfuerzo producido y así finalmente determinar a qué carga se produce la zona de transición. Se puede ver claramente que por esta vía hay que estimar mucho.
2. Velocidad de giro del eje: por efecto de capa límite a mayor velocidad la capa de lubricante entre las dos superficies es mayor. Claro sin irnos a velocidades

muy altas donde el lubricante empieza a degradarse, rompiendo su estructura molecular debido a los elevados esfuerzos cortantes.

3. Tipo de aceite y su viscosidad (temperatura de trabajo): para la selección del aceite se realizó un estudio de mercado, donde se buscó cuál era el más utilizado a nivel nacional, para así simular el común denominador de los motores diesel en Venezuela. El aceite seleccionado para todos los ensayos fue Shell Rimula SAE 50 monogrado. La viscosidad depende directamente de la temperatura de trabajo, la cual fijamos en 60 °C, ya que ésta es la temperatura promedio del aceite en el cárter del motor diesel.

Teniendo todo esto en mente nos disponemos a realizar dos ensayos con un par tribológico de anillos Falex H-30 y Bloques Falex F-S10, donde pudimos observar que a velocidades superiores a 300 rpm la excentricidad del eje afectaba significativamente la respuesta de los ensayos, debido a que se creaban cargas alternantes localizadas, la prueba fue detenida a los 2 min. Es por esto que para los ensayos subsiguientes se tomó una velocidad de giro de 150 rpm. Los valores de dichos ensayos fueron:

#### 1.- Primer ensayo: Bloque Falex H-30 vs Anillo Falex F-S10

- $RPM = 300 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$
- *Temperatura del lubricante = 60°C*
- *Distancia de deslizamiento  $\approx 66m$*

Tabla 3. Resultados del primer ensayo Bloque Falex H-30 vs Anillo Falex

Revoluciones	Carga Normal [Lbs]	Duración	Fuerza Fricción [Lbs]
300	20	1'	16
600	20	2'	15

F-S10



Figura 6. Bloque y anillo del primer ensayo Bloque Falex H-30 vs Anillo Falex

F-S10

2.- Segundo ensayo: Bloque Falex H-30 vs Anillo Falex F-S10

- $RPM = 150 \frac{rev}{min}$
- *Temperatura del lubricante = 60°*
- *Distancia de deslizamiento  $\approx 296m$*

Tabla 4. Resultados del segundo ensayo Bloque Falex H-30 vs Anillo Falex F-S10

Revoluciones	Carga Normal [Lbs]	Duración	Fuerza Fricción [Lbs]
150	20	1'	20
450	30	3'	28
900	40	6'	40
1350	40	9'	38
2700	40	18'	38



Figura 7. Bloque y anillo del segundo ensayo

#### ***Pruebas con el par tribológico R-10 vs Babbitt***

El objetivo principal de estos tres ensayos era el de encontrar un valor de carga que nos ocasionase una lubricación de tipo límite. Para nuestra sorpresa la conclusión fue completamente distinta.

Todas las pruebas se realizaron con una temperatura de aceite de 60°C y una velocidad de 150 rpm.

1.- Primer ensayo.

Parámetros de rociado del bloque:

- *Tasa de alimentación* =  $5 \frac{Lbs}{h}$
- *Voltaje* = 36 V
- *Amperaje* = 650 Amp

*Duración de la Prueba* = se pensó que duraría 30 min

Tabla 5. Resultados del primer ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbit

Revoluciones	Carga Normal [Lbs]	Duración	Fuerza Fricción [Lbs]
150	20	1'	13
300	30	2'	20

Se produce un desprendimiento del recubrimiento de Babbit a los 2'40''.



Figura 8 Bloque y anillo del primer ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbit

## 2.- Segundo ensayo.

Parámetros de rociado del bloque:

- *Tasa de alimentación* =  $7 \frac{\text{Lbs}}{\text{h}}$
- *Voltaje* = 36 V
- *Amperaje* = 650 Amp

*Duración de la Prueba* = se pensó que duraría 30 min

Tabla 6. Resultados del segundo ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbit

Revoluciones	Carga Normal [Lbs]	Duración	Fuerza Fricción [Lbs]
150	15	1'	10
300	15	2'	15
450	15	3'	13
600	15	4'	14
900	15	6'	12
1650	15	11'	12

Se produce un desprendimiento del recubrimiento de Babbit a los 11'04''. No se ve desgaste en el bloque.



Figura 9. Bloque y anillo del segundo ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbit

### 3.- Tercer ensayo.

Parámetros de rociado del bloque:

- *Tasa de alimentación* =  $6 \frac{Lbs}{h}$
- *Voltaje* = 36 V
- *Amperaje* = 650 Amp

*Duración de la Prueba* = 30 min

Tabla 7. Resultados del tercer ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbit

Revoluciones	Carga Normal [Lbs]	Duración	Fuerza Fricción [Lbs]
150	7,5	1'	7
300	7,5	2'	7
900	7,5	6'	6
1500	7,5	10'	6
4500	7,5	30'	5

No se produce desprendimiento del Babbit, pero no se ve un desgaste en el bloque. Se puede apreciar una sombra en lo que fue la línea de contacto, pero observando de cerca se ve que ocurrió transferencia de material del anillo hacia el bloque.



Figura 10. Bloque y anillo del tercer ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbit

Una vez realizado estos tres ensayos, nos dimos cuenta que el Babbit se estaba sacrificando y el R-10 no sufría un patrón de desgaste uniforme y cuantificable. Se procedió a realizar dos pruebas más:

#### 4.- Cuarto ensayo.

Con el objetivo de ver si la zona de transición entre lubricación límite e hidrodinámica se encontraba en la carga de 10 Lbs.

Parámetros de rociado del bloque:

- $Tasa\ de\ alimentación = 6 \frac{Lbs}{h}$

- *Voltaje = 36 V*
  - *Amperaje = 650 Amp*
- Duracion de la Prueba = 30 min*

Tabla 8. Resultados del cuarto ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbit

Revoluciones	Carga Normal [Lbs]	Duración	Fuerza Fricción (Lb)
150	10	1'	8,5
300	10	2'	7
450	10	3'	7
600	10	4'	6,5
900	10	6'	6,5
1500	10	10'	6,5
2250	10	15'	6
3000	10	20'	6
4500	10	30'	5

Se observa un patrón de desgaste muy parecido al ensayo anterior, con transferencia de material del anillo hacia el bloque



Figura 11. Bloque y anillo del cuarto ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbitt

#### 5.- Quinto ensayo.

Este ensayo fue realizado sin lubricación. Con una velocidad de 75 rpm.

Parámetros de rociado del bloque:

- *Tasa de alimentación* =  $7 \frac{\text{Lbs}}{\text{h}}$
- *Voltaje* = 36 V
- *Amperaje* = 650 Amp

*Duración de la Prueba* = 5 min

Tabla 9. Resultados del quinto ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbitt

Revoluciones	Carga Normal [Lbs]	Duración	Fuerza Fricción [Lbs]
75	2,5	1'	12
150	2,5	2'	11
225	2,5	3'	11
300	2,5	4'	12
375	2,5	5'	14



Figura 12. Bloque y anillo del quinto ensayo Bloque R-10 vs Anillo Babbit

Se observa un patrón de desgaste muy parecido al ensayo anterior, con transferencia de material del anillo hacia el bloque. También se puede observar que el bloque se apoyo más de un lado e incluso no logro desgastarse

Finalmente luego de estos 7 ensayos se llega a la conclusión de que los anillos recubiertos de Babbit no iban a producir un desgaste apreciable en los bloques, ya que éstos se desgastan de forma adhesiva y no podríamos satisfacer los objetivos de este trabajo de grado. Es por esto que se decide cambiar el par tribológico y no utilizar los anillos recubiertos con Babbit, sustituyéndolos por un material más resistente.

## ANEXO C

Las reparaciones realizadas a la rectificadora fueron:

1. Arreglo del sistema eléctrico, en específico la suichera.
2. Cambio de las correas de potencia

3. Instalación de 8 piedras de rectificado de Alúmina.
4. Limpieza del sistema de enfriamiento, y cambio de la Taladrina.

También se construyó una prensa que permite la sujeción de los bloques (Figura 14), ya que los platos magnéticos no brindan suficiente adherencia y un prensa común no garantiza una superficie completamente perpendicular a la hora de la montura.

Gracias a la puesta en marcha de esta rectificadora (Figura 13) ahora se han realizado numerosos trabajos reacondicionando otros equipos que necesitaban mantenimiento. Siendo uno de ellos la máquina de embutir que más adelante utilizaríamos.



Figura 13. Rectificadora Horizontal



Figura 14. Soporte para montura de bloques en Rectificadora Horizontal

## ANEXO D

### Ensayo De Calibración

Como mencionamos anteriormente la máquina fue calibrada durante su estadía en la empresa Plasmatec C.A., pero luego fue reubicada en las instalaciones de la UCV. Es por esto que se realizó un ensayo de calibración, para garantizar que la máquina no hubiese sufrido daños durante el transporte. Los ensayos de calibración completos pueden ser encontrados en el Trabajo de Grado de De Santa Anna y Scagni (2007) y la norma por la cual se rige dicho ensayo es la D 2714 – 88.

El objetivo de este ensayo consiste en comprobar el buen funcionamiento y calibración de la máquina ya que los resultados que deben obtenerse en cada prueba, están estrictamente especificados. Si las pruebas arrojan resultados que están dentro del rango establecido por la norma de calibración, entonces la máquina se encuentra en buen funcionamiento y en correcta calibración.

Rangos de valores que deben cumplirse en la prueba:

- Fuerza de Roce : [ 15 – 22 lbf]
- Medida longitudinal de huella de desgaste en los Bloques : [1.70 – 2.90 mm]
- Pérdida de peso por desgaste: cercano a 0.1mg.

Los valores obtenidos del ensayo de calibración fueron:

- Probetas utilizadas: Bloque Falex H-30 y Anillo Falex F-S10
- Revoluciones del eje: 72 rpm
- Duración: 62' 30''
- Carga normal: 15 Lbs
- Lubricante: el proporcionando por la compañía Falex para este tipo de ensayo de calibración.

Tabla10. Resultados Prueba de Calibración Máquina Falex

Revoluciones	Duración	Fuerza Fricción (Lb)
200	2'46"	20
400	5'30"	19
600	8'20"	19
4500	62'30"	17

La pérdida de peso fue de 0,0946 gr



Figura 15. Bloque y Anillo Ensayo Block on Ring de calibración

Se puede observar que los ensayos cumplen con lo que estipula la norma y por esto podemos decir que la máquina se encuentra calibrada.