

Investigación en la influencia del contenido en Cr de aleaciones NiCrBSi sobre el par rozante Acero F-5220 templado en aceite en la modelización del comportamiento tribológico en medios lubricados. (Curva de Stribeck)

D. Leal Cano¹; K. A. Habib¹; C. Tarazona Caudet¹; P. Ortelles¹

1Dpto. de Ingeniería de sistemas Industriales y Diseño, Universidad Jaume I. al118356@alumail.uji.es

1Dpto. de Ingeniería de sistemas Industriales y Diseño, Universidad Jaume I. razzag@uji.es

1Dpto. de Ingeniería de sistemas Industriales y Diseño, Universidad Jaume I. al087673@alumail.uji.es

1Dpto. de Ingeniería de sistemas Industriales y Diseño, Universidad Jaume I. al106652@uji.es

Se han escogido los recubrimientos NiCrBSi debido a sus características mecánicas que los hacen ser materiales adecuados para ser utilizados contra el desgaste abrasivo, erosión, cavitación, etc. en diversas aplicaciones, como son: rodamientos, frenos, anillos de pistones, engranajes y levas, etc. Estos recubrimientos son comúnmente depositados mediante diferentes técnicas, como la proyección por llama (OF) y por llama a alta velocidad (HVOF), seguido de fusión del recubrimiento mediante llama oxiacetilénica o por láser. Este trabajo, trata el estudio del comportamiento tribológico en medios lubricados de los pares rozantes como disco común, el acero F-5220 templado en aceite y como pin se utilizó un acero inoxidable AISI 304 recubierto mediante aleaciones autofundentes base NiCrBSi, depositados con la técnica de proyección por llama (OF) y refusión por llama oxiacetilénica, con el objeto de investigar la influencia del contenido en Cr de las aleaciones NiCrBSi en las curvas de Stribeck, desde el ámbito de la lubricación hidrodinámica hasta la límite por medio de ensayos realizados mediante el tribómetro modelo Plint & Panters TE79/P utilizando cómo técnica “pin on disk”. Se establecen las variables que controlan el régimen de lubricación mixta y los indicadores, variable adimensional de Hersey y presión aparente aplicada, con el objeto de diferenciar el grado de adhesión entre los diversos pares frotantes investigados. En este trabajo de investigación, también se ha demostrado que el contenido en cromo tiene gran influencia sobre los valores de rozamiento, disminuyendo al incrementar este.

1. INTRODUCCIÓN.

Existen diferentes sectores industriales que están invirtiendo sus esfuerzos en investigaciones sobre cómo controlar la fricción y el desgaste en sistemas mecánicos. La demanda de materiales cada vez más resistentes y de mejores propiedades para aplicaciones sometidos al desgaste, en ambientes corrosivos y expuestos a altas temperaturas podría ser solucionada en gran parte mediante la aplicación de recubrimientos adecuados sobre sustrato metálicos. Para lograr estos objetivos se plantean, entre otras, las siguientes líneas de actuación: desarrollo de lubricantes de menor viscosidad y mayor durabilidad, desarrollo de materiales de baja fricción y recubrimientos duros [1]. En la actualidad la resistencia a alta temperatura, desgaste y a la corrosión, son propiedades que cada vez, son más requeridos en muchas industrias, la aplicación de estos recubrimientos son una alternativa para el cual nos permite mejorar las propiedades superficiales de los materiales sin cambiar sus propiedades internas alargando así su vida útil.

Los recubrimientos de aleaciones autofundentes base níquel han sido utilizados en una amplia gama de aplicaciones industriales como (calentadores, turbinas, intercambiadores de calor, etc.), por su combinación de alta resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión, este tipo de recubrimientos también son versátiles debido a su resistencia a la corrosión a altas temperaturas y su costo relativamente bajo [2-3]. Estas aleaciones (NiCrBSi) normalmente contienen cromo, hierro, silicio, boro y carbono como elementos de aleación. Sin embargo no han dado resultados positivos para la dureza del recubrimiento y resistencia al desgaste. Algunas investigaciones previas han mostrado que las adiciones de WC pueden mejorar la resistencia al desgaste de estos recubrimientos [4].

Estas aleaciones (NiCrBSi) son comúnmente depositados sobre la superficie del material base mediante técnica de proyección térmica por llama (OF) o alta velocidad (HVOF) posteriormente de refusión mediante llama oxiacetilénica o láser, con el objetivo de mejorar su comportamiento a desgaste a la resistencia y la corrosión a altas temperaturas. Una de las técnicas de proyección térmica más utilizada es la alta velocidad (HVOF) [5] debido a la reducción de la porosidad y mejorar la resistencia de la interfase del metal lo cual da como resultado una menor descomposición de los elementos aleantes durante la deposición de los recubrimientos cómo puede ser el WC. También existen otras técnicas como el termorrociado HVOF aplicable a estos recubrimientos en el cual mejoran mucho la calidad del recubrimiento [6].

El objetivo de este trabajo es investigar la influencia que tiene el contenido en Cr de las aleaciones NiCrBSi en las variables que controlan la lubricación mixta y los modelos de la correlación de Stribeck [7], correlación del coeficiente de rozamiento con la variable de Hersey se realizó mediante el tribómetro Pin on disk utilizando un lubricante comercial industrial que se utiliza habitualmente para la determinación del coeficiente de rozamiento y velocidad de desgaste desde el ámbito de la lubricación hidrodinámica hasta la zona límite, por medio de su correspondiente modelización. De este modo nos permite obtener indicadores el cuál podamos diferenciar su comportamiento en el grado de cohesión de los pares rozantes seleccionados. En este trabajo se aplica el par rozante [NiCrBSi, 10%Cr-16%Cr respectivamente-Acero F-5220 templado en aceite].

2. PLANIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS.

En la preparación de las muestras, se ha utilizado como material base un Acero AISI 304 con un diámetro de 8mm y 16mm recubierto mediante polvos autofundentes de NiCrBSi, con adiciones de Cr en un 10% y 16% respectivamente, cuya composición química se muestra en la Tabla 1. Estos recubrimientos son depositados sobre el material base utilizando la técnica de proyección térmica por llama (OF) seguido de fusión del recubrimiento con llama oxiacetilénica. La finalidad de la refusión es eliminar o disminuir la porosidad y aumentar la adherencia al sustrato. El espesor del recubrimiento tras la refusión es de aproximadamente 1,5 mm. La superficie de contacto tras el desbaste y pulido es de alrededor 2,18mm². El disco utilizado en el banco tribológico es un Acero F-5220 templado en aceite con un diámetro de 100mm y un espesor de 5mm. Se ha controlado y medido la rugosidad superficial de las probetas “pin y disco” antes de los ensayos por medio de un rugosímetro modelo TESTER C3A HOMMEL T8000R dando los siguientes valores: Ra comprendido entre 0,37 y 0,34, Rmax entre 2,9 y 3,2 y Rz entre 2,7 y 2,9. Los ensayos se realizan con lubricación de forma similar a las aplicaciones industriales. El lubricante empleado corresponde a una calidad usual comercial: aceite de corte Houghton Ibérica S.A. (CUT-MAX 110) con las siguientes características: una densidad a 15°C de 0,880gr/cm³ y una viscosidad cinemática de 100cSt. La cantidad de aceite utilizado por cada ensayo es de 5ml.

Tabla 1: Composición química de las aleaciones NiCrBSi en % y acero F-5220 templado en aceite.

Aleación	C	Si	B	Cr	Fe	Ni	Mn	P	S	W	V
R1, NiCrBSi, 10%Cr	0,4	3,1	1,6	10,1	2,8	81,94	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
R2, NiCrBSi, 16%Cr	0,4	3,1	1,6	16	2,8	76,04	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Acero F-5220 templado en aceite	0,97	0,25	(-)	0,6	(-)	(-)	1,1	0,035	0,035	0,6	0,1

El cromo es un elemento que se utilizan en diversas aleaciones por sus buenas propiedades mecánicas, como es, su alta dureza. En este estudio se han escogido dos tipos de recubrimientos base NiCrBSi, uno de ellos con un 10% de Cr y otro con el 16% Cr, aumentando este su dureza con respecto al del 10%Cr en un 7%.

Tabla 2. Durezas superficial HR15N/Cono 120° obtenidos sobre los pares rozantes.

Muestra	HR 15N/Cono 120°	Dureza media
R1. NiCrBSi, 10%Cr	80,6	80,2
R2. NiCrBSi, 16%Cr	86,8	86,6
Acero F-5220 templado en aceite	84	85,2

Los ensayos de rozamiento se realizaron con la técnica pin on disk utilizando un banco tribológico modelo Plint & Parters TE79/P con las siguientes condiciones de trabajo: se han considerado cargas de entre 3, 6, 9, 15 y 20N, obteniendo unas presiones aparentes con los siguientes valores: 91560, 68670, 41202 y 27468 Kg/m² y velocidades comprendidas entre 0.0366, 0.0733, 0.1099, 0.1465, 0.1832, 0.2198 m/s, temperatura ambiente de 23°C y humedad relativa del 60%. Cada ensayo consta en la aplicación de una carga sometida a diferentes velocidades, (baja media y alta) durante un recorrido de 100m. La distancia entre la muestra a ensayar y el centro del disco es 35mm. Por cada ensayo se han obtenido 100 valores del coeficiente de fricción, uno por cada metro recorrido dando como resultando un valor del coeficiente de rozamiento tras haber sido promediado.

El análisis del comportamiento tribológico desde la tendencia a la cohesión el cuál condiciona el desgaste, se realiza usando indicadores normalizados de fricción de las muestras de ensayo con discos de Acero F-5220 templado en aceite en una máquina de fricción pin on disk. Los indicadores que pueden obtenerse en esta máquina son a) Fuerza aplicada (Fn), b) Presión aparente, Pa=Fn/S, siendo S la sección de la muestra. c) Presión aparente por unidad de ancho Pal= (Ft/Fn)*d, siendo d el diámetro de la muestra. d) Fuerza de rozamiento (Fc). e) Coeficiente de rozamiento, Cr=Ft/Fn. f) Velocidad de aplicación (v).

Tras los indicadores obtenidos nombrados anteriormente se obtiene para normalizar: g) Parámetro de Hersey=(v*v)/Pal siendo v la viscosidad dinámica del lubricante a la temperatura T del ensayo.

La Curva de Stribeck está comprendida en tres zonas diferenciadas, I zona límite, II zona mixta y III zona hidrodinámica. El régimen de lubricación mixta promedia la parte de la superficie que se encuentra en régimen hidrodinámico con aquella que se encuentra en régimen de capa límite, de contacto entre las dos superficies. La influencia sobre el coeficiente de rozamiento está forzada por la superficie que se halla el régimen de capa límite, afectada por los fenómenos interferenciales y/o cohesivos. La separación del comportamiento interferencial y / o cohesivo puede realizarse con las observación de la evolución del coeficiente de rozamiento con las presiones. El coeficiente crece cuando, con el aumento de las presiones, se inicia el rozamiento cohesivo. Y como sabemos, cuando existe cohesión superficial, el desgaste crece desmesuradamente y se inicia los procesos de gripado.

3. RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN.

En figura 1, se observa la correlación gráfica del coeficiente de rozamiento con la variable de Hersey, viscosidad (η (Kg/ms)), presiones de ensayo (P_a , (Kg/m²)) y velocidad (m/s) para cada uno de los tipos de par de fricción ensayados, disco de frotamiento de acero F-5220 templado en aceite entre R1 (NiCrBSi, 10%Cr) y R2 (NiCrBSi, 16%Cr).

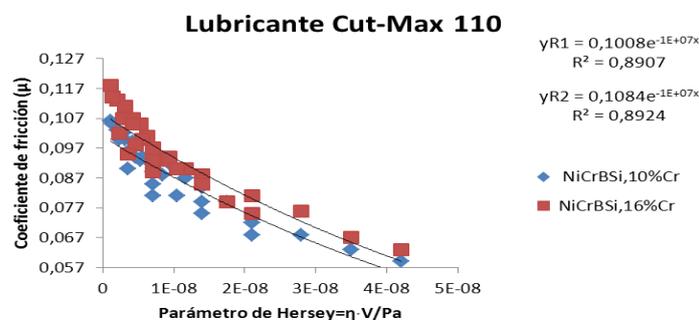


Figura 1. Correlación Stribeck, Coeficiente de rozamiento-Vs- Parámetro de Hersey ($\mu=f(H_s)$), para el par frotante Acero F-5220 templado y Aleaciones NiCrBSi, 10%Cr-NiCrBSi, 16%Cr.

Es bastante aceptable la correlación del tipo exponencial para los pares frotantes ensayados por su alto orden de índice de correlación (R) que alcanza aproximadamente el 90% en ambos ensayos, el modelo es del tipo:

$$\mu = \mu_0 \cdot e^{-ne \cdot H_s} \quad (1)$$

Una función exponencial puede estar conformada por la iteración de dos mecanismos. En el caso que nos ocupa se puede hipotetizar que estos mecanismos corresponden a los extremos de la lubricación mixta, es decir: a) La lubricación hidrodinámica, extremo inferior, b) Lubricación límite, extremos superior.

Por la propia definición la lubricación hidrodinámica debe ser independiente de la naturaleza de los pares rozantes, importando para el rozamiento solo la viscosidad del lubricante utilizado. Sin embargo es evidente que el camino recorrido en la curva de Stribeck hasta alcanzar el régimen hidrodinámico, está mediatizado por los fenómenos de la lubricación Límite, el cuál obtendremos el nivel de cohesividad de los pares frotantes a ensayar

en esa zona de la curva, lo cual es un parámetro importante ya que nos define el grado de cohesión, (microsoldaduras entre las asperezas de las superficies en contacto).

Así pues los indicadores del camino de la exponencial hasta alcanzar el régimen hidrodinámico pueden ser utilizados para el análisis del comportamiento cohesivo de los diferentes pares rozantes. En este sentido se han utilizado los siguientes indicadores:

- a) **El coeficiente de rozamiento en el origen**, (μ_0) para $H_s=0$. Por extrapolación este puede ser considerado como el coeficiente de rozamiento en la Lubricación Límite. En este sentido valores mayores de μ_{r0} son indicativos de mayor tendencia a la cohesividad de los pares frotantes.
- b) **La pendiente de la función exponencial en el origen**, p_{Hs0} . Una menor pendiente puede significar una mayor influencia de la lubricación límite y, por tanto, de mayor comportamiento cohesivo.
- c) **El exponente de la función**, ne . Indica la tendencia directa alcanzar las abcisas, dominio del régimen hidrodinámico. De otro modo valores altos del exponente indican una mayor cohesividad.
- d) **La variable de Hersey en la que se puede considerar el inicio de la lubricación hidrodinámica**, H_{s0} . En este sentido valores altos de la variable H_{s0} significa un mayor dominio del comportamiento cohesivo, puesto que requieren mayores flujos de lubricantes para eliminar toda posible acción cohesiva.

Conocidas las dificultades para la medición del coeficiente de fricción del orden de 10^{-4} , se ha definido como forma normalizada la variable H_{s0} con un valor del coeficiente de rozamiento ($\mu_{Hs0}=0,01$) en el inicio de la zona hidrodinámica de la curva de Stribeck.

En la tabla 3 se han cuantificado los valores de μ_0 , p_{Hs0} y H_{s0} obtenidos desde la correlación de la figura n°1 para los dos pares rozantes ensayados.

Tabla 3.- Valores de μ_0 , ne , p_{Hs0} y H_{s0} de la correlación de Stribeck para los pares frotantes: Ac. F-5220 templado en aceite- R1 (NiCrBSi, 10%Cr) y Ac. F-5220 templado en aceite-R2 (NiCrBSi, 16%Cr).

Par frotante	μ_0	ne	P_{Hs0}	H_{s0}
Ac. F-5220 templado en aceite –R1	0,1008	-1E+7	-22112	2,31E ⁻⁶
Ac. F-5220 templado en aceite –R2	0,1084	-1E+7	-36189	2,38E ⁻⁶

El análisis de la transición entre la lubricación límite y la hidrodinámica, corresponde a la lubricación mixta, donde se concentran todos los puntos obtenidos en cada ensayo para cada uno de los pares rozantes, representando así los valores para cada presión aparente más significativos, presiones de ensayo mínima, media y máxima como podemos observar en la figura 2, nos permite deducir que ésta es la conformación reglada de correlaciones lineales dependientes de la presión (P_a). Para este estudio no se han considerado los coeficientes de rozamientos menores de 0,01 por haberlo definido como coeficiente de rozamiento que corresponde a la zona de lubricación hidrodinámica.

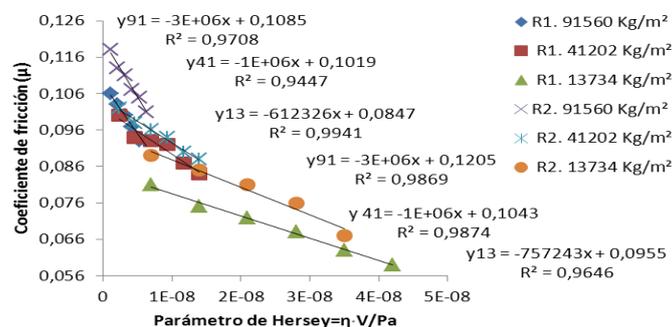


Figura 2. Correlación lineal μ - H_s para cada serie de valores a presión constante subíndice de “Y “en los pares frotantes, Acero F-5220 templado en aceite y recubrimientos NiCrBSi, [10 – 16] %Cr.

Cómo puede observarse los coeficientes de correlación hallados hace suponer la veracidad de la dependencia con las presiones aparentes. El modelo genérico es del tipo:

$$\mu_{pa} = \mu_0 - p \cdot H_s \quad (2)$$

Además los dos términos que componen el modelo de correlación lineal, pendiente (P) y término independiente (μ_0), corte con el eje de las ordenadas, muestran una tendencia de crecimiento cualitativo en función de la presión aparente (P_a).

La correlación de los términos independientes (μ_0) puede analizarse con las presiones aparentes, lo que significa por extrapolación la correlación del coeficiente de rozamiento corresponder a la zona de lubricación límite con las presiones aplicadas.

En la figura 3 se observan estas correlaciones potenciales para los dos pares rozantes investigados tanto en el disco de frotamiento acero F-5220 templado en aceite y R1 (NiCrBSi, 10%Cr) como R2 (NiCrBSi, 16%Cr). La selección de la correlación potencial es debida a la reconocida dependencia de amortiguamiento del coeficiente de rozamiento con el incremento de las presiones aparentes.

El modelo óptimo es de tipo potencial de la forma:

$$\mu_0 = K_{\mu 0} \cdot P_a^{nl} \quad (3)$$

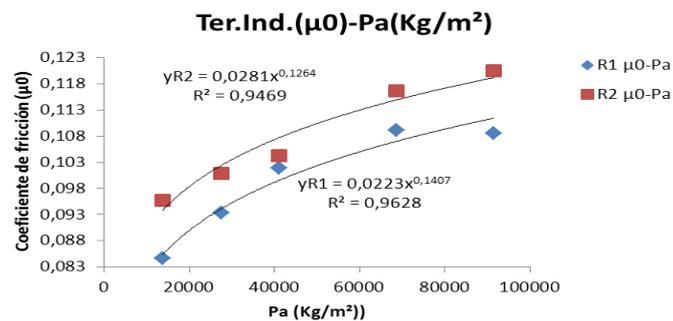


Figura 3. Correlación de los términos independientes (μ_0) con las presiones aparentes (P_a) para el par frotante Acero F-5220 templado y Aleaciones NiCrBSi, [10 – 16] %Cr.

En la figura 3 podemos justificar la excelente correlación de este modelo, el cual el crecimiento del coeficiente de rozamiento en la lubricación límite con las presiones, así como la tendencia cohesiva que se indica por: a) Mayor valor del factor ($K_{\mu 0}$). b) Mayor valor del exponente (nl).

Igualmente se analiza la correlación de las pendientes (P) del modelo lineal del coeficiente de rozamiento para cada presión aplicada en cada ensayo (μ_{pa}). En la figura n^o4 se reproduce esta correlación para los pares rozantes ensayados.

Puede observarse en ambas la excelente correlación (R), en el orden del 0,94 y 0,96% respectivamente, lo que significa la notable influencia de la presión aparente en la lubricación mixta.

El modelo más adecuado en esta correlación es del tipo potencial de la forma:

$$p = K_p \cdot P_a^{np} \quad (4)$$

En esta correlación la mayor tendencia cohesiva se interpreta por una mayor influencia de la lubricación límite sobre la hidrodinámica mayor pendiente (P). De este modo por: a) Mayor factor K_b . b) Mayor exponente (np).

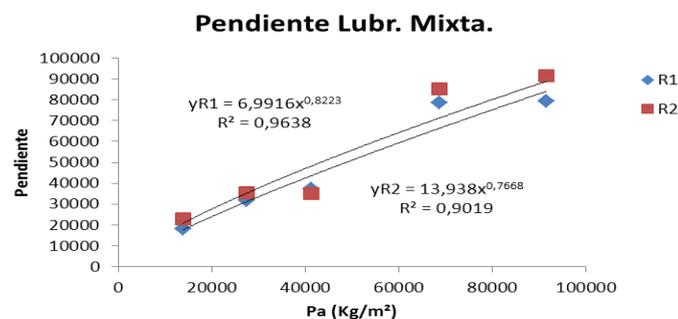


Figura 4. Correlación Pendiente (P)-Presión aparente (Pa) en las curvas de lubricación mixta del par frotante Acero F-5220 templado y Aleaciones NiCrBSi, [10 – 16] %Cr.

Con los resultados obtenidos en la correlación observada en la figura n°4, se planteó la hipótesis como zona predominante en la curva de Stribeck la lubricación mixta mediante la variable conjunta que conforman la lubricación hidrodinámica, H_s y la lubricación límite, p_a^n . De este modo se hipotetizó la variable $H_s \cdot p_a^n$ en la que (n) es un exponente que debe ser optimizado con el coeficiente de rozamiento (μ) disminuido en el correspondiente a la lubricación límite para cada presión ensayada (μ_{0pa}).

De este modo la expresión que determina el coeficiente de rozamiento en la lubricación mixta corresponde a una genérica del tipo:

$$\mu = \mu_{0pa} - p H_s \cdot p_a^{nh} \quad (5)$$

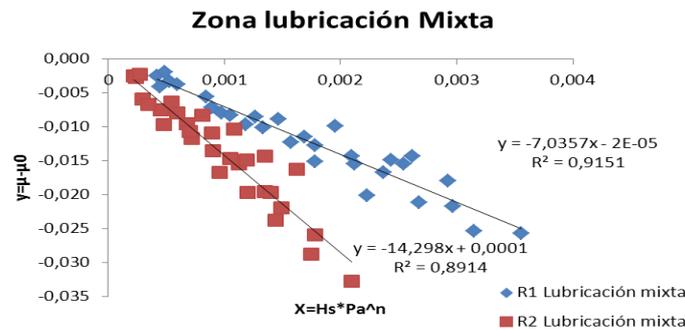


Figura 5. Correlación) ($\mu - \mu_{0est}$) con el parámetro compuesto de H_s y P_a^n -para el par frotante Acero F-5220 templado en aceite y Aleaciones NiCrBSi, [10 – 16] %Cr.

En ambos análisis, ver figura 4, el exponente óptimo (nh) de la variable compuesta $H_s \cdot p_a^{nh}$ corresponde al recubrimiento R1 ($n=0,82$) y en el recubrimiento R2 ($n=0,766$) con coeficientes de correlación del 0,96 y 0,90% respectivamente. Con él se justifica que la lubricación mixta es gobernada por la variable compuesta $H_s \cdot p_a^{nh}$, en la que H_s es la variable que regenta la lubricación hidrodinámica y la p_a^n es la que lo hace en la límite.

De este modo el modelo genérico del coeficiente de rozamiento en la lubricación mixta es el que se expresa a continuación:

$$\mu = K_{\mu 0} \cdot p_a^{n_l} - K_p \cdot H_s \cdot p_a^{nh} \quad (6)$$

En este caso, el modelo del coeficiente de rozamiento en la lubricación mixta para el par rozante [disco de acero F-5220 templado en aceite y el recubrimiento R1 (NiCrBSi, 10%Cr)] es el que se expresa a continuación:

$$\mu = 0,0223 \cdot p_a^{0,14} - 6,9916 \cdot p_a^{0,82} \cdot H_s \quad (7)$$

Y por lo tanto, el modelo matemático en el coeficiente de rozamiento en la lubricación mixta para el par flotante, [disco de acero F-5220 templado en aceite y en el recubrimiento R2 (NiCrBSi, 16%Cr)] se expresa a continuación:

$$\mu = 0,0281 \cdot p_a^{0,126} - 13,938 \cdot p_a^{0,766} \cdot H_s \quad (8)$$

Mediante el uso de estos modelos para determinar el coeficiente de rozamiento en la lubricación mixta se puede evaluar el parámetro de Hersey en el que se inicia la lubricación hidrodinámica, H_{s0} , el cual es función de las presiones aparentes aplicadas en los ensayos.

Aceptando que el régimen hidrodinámico se inicia para valores $\mu \leq 0,01$ se puede obtener el modelo 7 y 8 la variable de Hersey (H_{s0}), el cual cumple con la citada condición para cada presión aparente. En la figura n°6 se grafica el valor encontrado para los pares flotantes [disco de acero F-5220 templado en aceite y R1 (NiCrBSi, 10%Cr) - R2 (NiCrBSi, 16%Cr) respectivamente.

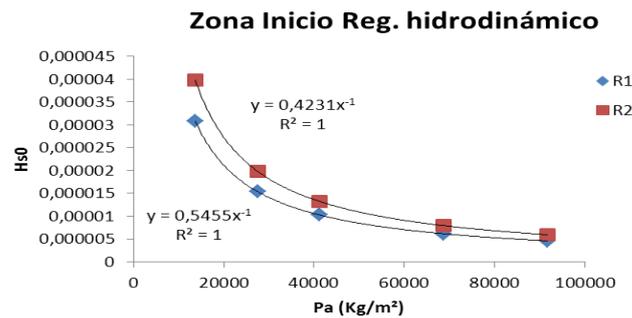


Figura 6. Correlación) parámetro compuesto de Hersey de inicio del régimen hidrodinámica (H_{s0})-Presión aparente (Pa) para el par frotante Acero F-5220 templado y Aleaciones NiCrBSi, [10 – 16] %Cr.

Se observa en la modelización de acuerdo con los ensayos realizados que la función de inicio a la lubricación hidrodinámica disminuye con la presión aplicada (p_a). El modelo es del tipo potencial con exponente negativo (ns) siendo del tipo genérico:

$$H_{s0} = K_{Hs0} \cdot P_a^{-ns} \quad (9)$$

A partir de este modelo *el indicador de mayor cohesividad* está relacionado con valores mayores de la variable de Hersey, o de otro modo con: a) Mayor Valor de K_{Hs0} . b) Menor valor del exponente (nh).

Recopilando toda la información obtenida tras los resultados en este trabajo de investigación podemos justificar la bondad de los modelos matemáticos estudiados para la lubricación mixta en la figura 7 el cual se han representado la correlación entre el coeficiente de rozamiento y la variable de Hersey, para los dos pares rozantes investigados, considerando los siguientes límites calculados: a) Coeficiente de rozamiento para $H_s=0$, lubricación límite. b) Variable de Hersey para $\mu=0,01$, inicio de la lubricación hidrodinámica. La comparación con la figura 2 obtenidas a partir de los datos de ensayo permite valorar la bondad global de los modelos entre los dos pares rozantes ensayados.

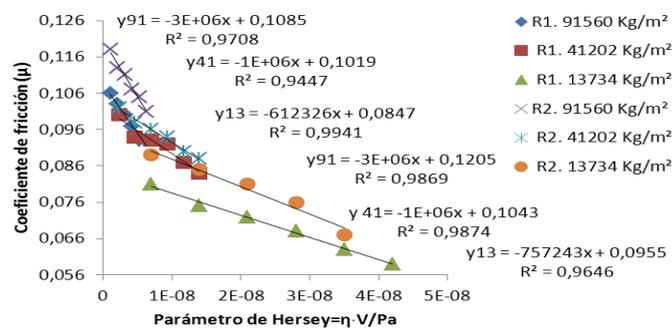


Figura 7. Correlación lineal μ - H_s para cada serie de valores a presión constante subíndice de “Y” en los pares frotantes, Acero F-5220 templado en aceite y recubrimientos NiCrBSi, [10 – 16] %Cr.

4. CONCLUSIONES.

4.1 Nos permite conocer el comportamiento tribológico (fricción y regímenes de lubricación) de los pares frotantes a investigar [acero F-5220 templado en aceite y las aleaciones de NiCrBSi con un 10-16% de Cromo] respectivamente en cualquier unión cinemática utilizando como lubricante aceite de corte Houghton Cut-Max 110.

4.2 La modelización en los regímenes de lubricación que conforman la Curva de Stribeck, nos permiten controlar las variables del parámetro de Hersey, viscosidad, velocidad y presión aparente el cuál están sometidas los pares rozantes a estudiar en medios lubricados.

4.3 Se ha establecido un modelo matemático del tipo exponencial para la correlación en la Curva de Stribeck debido a su alto ajuste definiendo así los siguientes indicadores a)- Coeficiente de rozamiento de la lubricación límite (μ_0). b)- Pendiente en el origen de la lubricación mixta (P_{Hs0}). c)- El parámetro de Hersey en el inicio de la lubricación hidrodinámica, así como modelos lineales para la lubricación mixta parametrizados por la presión

aparente (P_a), lo que están determinados el coeficiente de rozamiento característico de la lubricación límite (μ_0) y sus pendientes de decrecimiento (P).

A partir de estos indicadores, mayor coeficiente de rozamiento (lubricación límite), menor parámetro de Hersey, cuanto menor pendiente, mayor tendencia al desgaste cohesivo, por lo tanto se deduce mayor tendencia cohesiva cuanto mayor son los indicadores, K_{cr} , n_l , K_p y n_p .

4.4 También se ha justificado por medio del modelo global de la lubricación mixta el inicio de la lubricación hidrodinámica que corresponde a una función potencial, factor (KH_{s0}) y exponente negativo (n_s), que disminuye con la presión aplicada, (P_a). A partir de estos indicadores se deduce la mayor tendencia cohesiva cuanto mayor son los valores de los indicadores KH_{s0} y n_s .

4.5 La adición de cromo en un 16% en aleaciones base NiCrBSi con respecto al 10% de cromo, incrementa su dureza hasta un 7%.

6. BIBLIOGRAFIA.

- [1] J.J Saura; Kudama Habib Ameen; C. Ferrer; M.S. Damra; Iván Cervera González; E. Giménez; Luis Cabedo Mas. "Propiedades mecánicas y tribológicas de recubrimientos alúmina/titania proyectadas por Oxifuel (spray llama)". Sociedad Española de Cerámica y Vidrio ISSN 0366-3175, Vol 47, N° 1 2008, págs. 7-12.
- [2] Z. Ye, C. Zhang, Y. Wang, H.S. Cheng, S. Tung, Q. Jane Wang, X He. An experimental investigation of piston skirt scuffing: a piston scuffing apparatus, experiments, and scuffing mechanism analyses. Wear Volume 257, Issues 1-2, Julio 2004, Pages 8-31.
- [3] COST Action 532. Scientific final report: Triboscience and Tribotechnology. Superior friction and wear control in engines and transmissions. (2007).
- [4] Gil L. and Staia M. Optimización de la calidad de recubrimientos base níquel obtenidos por termorrociado HVOF, tesis doctoral. UCV, Escuela de Metalurgia y Ciencia de los Materiales, Caracas, 2002.
- [5] María Rodríguez, Iván Moreno, Carolina Bilbao. "Resistencia al desgaste de recubrimientos tipo cermet depositados por HVOF con tratamiento térmico posterior" Revista de la Facultad de Ingeniería de la U:C:V. Vol.22N° 4, pp.25-35, 2007.
- [6] J.M. Guilemany, J. Nin, C. Lorenzana, J. M. Miguel, J. R. Miguel. "Tribología de recubrimientos Cermet/NiCrBSi depositados mediante HVOF". Bol. Soc. Esp. Ceram. V., 43 [2] 483-487 (2004).
- [7] Carlos Ferrer Giménez; Juan J. Saura Barreda; K A. Habib; Alfonso Cárcel; Gabriel Esteller Lorés; Miguel A. Pérez Puig. "Investigación de los modelos de comportamiento de la lubricación mixta de Stribeck. Aplicación al acero 1,2379, con tratamientos superficiales nitruración líquidos (tenifer), con el acero Inoxidable AISI 304". Trib 2003, II Congreso Ibérico de Tribología.