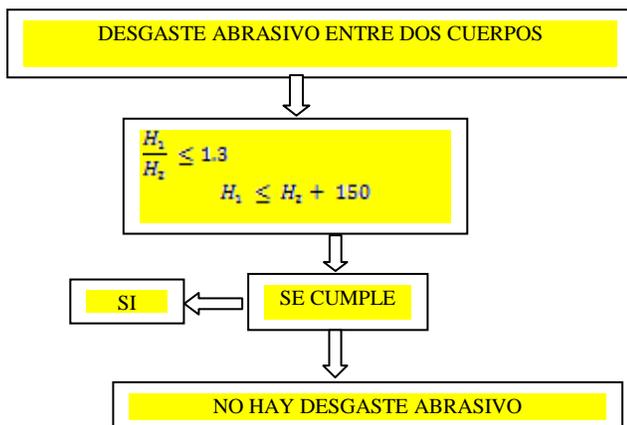


**Figura 3 Criterios de cálculo para cojinetes de deslizamiento**

En las condiciones de trabajo de los cojinetes de deslizamiento existe básicamente posibilidades de desgaste adhesivo (contacto entre superficies por tener una delgada capa de lubricante que no impide el contacto de las salientes) y desgaste abrasivo producto de partículas en el lubricante proveniente del exterior o de las limaduras que se producen en el desgaste adhesivo y en consecuencia las características del material juegan un rol importante en el control del desgaste.

### Control de desgaste abrasivo

Para el control del desgaste abrasivo de los cojinetes de deslizamiento, se recomienda el regular los parámetros presentados en la Figura 4.



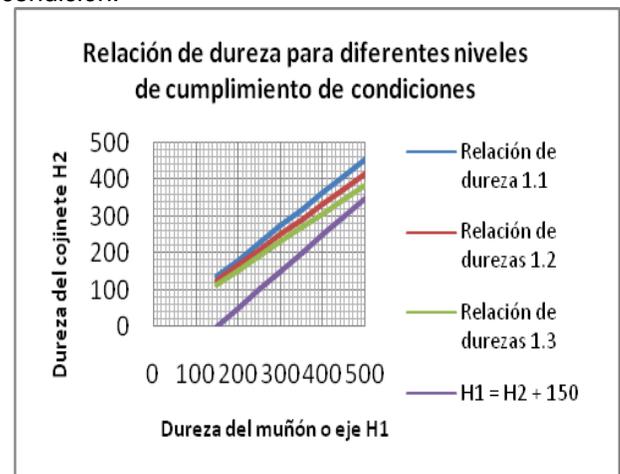
**Figura 4 Control del desgaste abrasivo**

Entonces debe elegirse un material que tenga una relación determinada de dureza con el muñón, que de manera simple puede ser expresado de la siguiente manera.

- La relación de dureza del material del muñón y el cojinete debe ser menor a 1,3.

- La dureza del muñón debe ser mayor que la dureza del cojinete en una magnitud menor que 150 unidades brinell.

En la Figura 5, se presenta una relación de durezas para diferentes niveles de cumplimiento de la primera condición.



**Figura 5 Relación de durezas eje cojinete para el cumplimiento de las condiciones recomendadas de trabajo**

Como se puede notar con todas las durezas obtenidas para las diferentes relaciones de durezas del muñón y el cojinete, se cumple el segundo requisito referente a la magnitud de la diferencia de durezas. Se puede también notar que a medida que la dureza del eje se hace mayor, la relación de durezas juega una influencia más significativa. En consecuencia dejarse guiar por la relación de durezas es adecuado.

Para nuestro caso se decide seguir una relación de dureza de 1.2, para determinar la dureza del material con el que debe fabricarse el cojinete.

De acuerdo a información verbal de técnicos de la Empresa de Ferrocarriles, para la fabricación de los ejes (muñón) que trabajan en contactos con los cojinetes, regularmente se utiliza acero al carbono SAE 1045, lo que es coincidente con las recomendaciones que aparecen en bibliografía para este tipo de partes.

Este tipo de acero según datos bibliográficos en su condición de estirado en frío tiene una dureza de 179 HB. Ahora bien, si se considera las diferentes alternativas basadas en la relación de dureza, el material del cojinete debe tener una dureza que oscila entre 137 y 162 HB. Asumiremos una media de 150 HB.

Según la norma unificada el bronce C95400 desarrolla una dureza de 160 HB<sup>2</sup>. A este bronce se le debe añadir 10% de plomo que es el nivel en el que se presentan las mejores condiciones de trabajo frente al desgaste. Se espera que la introducción de plomo baje la dureza al nivel preestablecido.

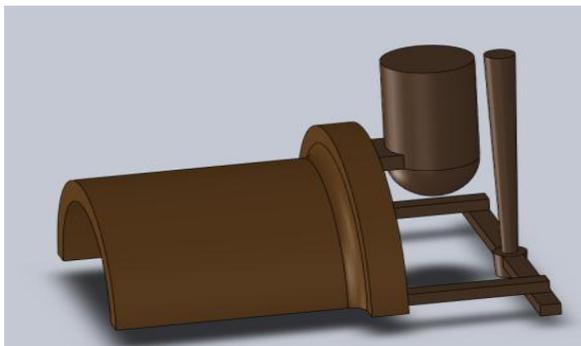
En consecuencia la aleación a fabricarse para la aplicación en cojinetes de locomotoras de ferrocarril debe tener la siguiente composición:

**Al : 10 – 11,5%; Fe : 3 – 5 %; Ni : 1,5 %; Mn : 0,5%;  
Pb : 10%; Cu : resto**

### APLICACIÓN INDUSTRIAL

Para la fabricación de los cojinetes, se debe tener en cuenta las características metalúrgicas de este tipo de los bronce al aluminio que inciden en la fabricación de piezas fundidas, estas son: la susceptibilidad a la oxidación y su contracción durante la solidificación.

Un análisis de las condiciones para realizar la colada de esta pieza en el material propuesto arroja el resultado presentado en la Fig 6.



**Figura 6 Esquema de colada para la fabricación del cojinete**

Las dimensiones de cada uno de los componentes fueron determinadas con ayuda de software desarrollado en el Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz Bolivia

### CONCLUSIONES

Antes de presentar las conclusiones, se debe hacer notar que este trabajo debe considerarse como inicial, debido a que se trata de un nuevo material del que no se tienen referencias. Con esa aclaración, se puede concluir en lo siguiente.

El bronce al aluminio con plomo (Al : 10 – 11,5%, Fe : 3 – 5 %, Ni : 1,5 %, Mn : 0,5%, Pb : 10%, Cu : resto) presenta todas las características necesarias para que pueda ser utilizado en la fabricación de cojinetes de locomotora de ferrocarril.

### AGRADECIMIENTOS

El autor desea hacer llegar sus agradecimientos al IIMETMAT de la UMSA, por su cooperación fundamental para el desarrollo y el financiamiento del trabajo.

De igual manera a la Empresa SIIF que en breve pondrá en aplicación los resultados obtenidos.

### BIBLIOGRAFIA

- 1) AFS Metalcaster's Reference Guide
- 2) CALIXTO RODRIGUEZ MARTINEA, Notas de tribología, universidad de oriente cuba
- 3) G. GONZALES REY, A. GARCÍA TOLL, T. ORTIZ CARDENAS. Elemento de Maquinas. Cojinetes de deslizamiento. Transmisiones Mecánicas
- 4) OMAR LINARES O. Tribología y Mantenimiento Proactivo, Widman, International S.R.L., Santa Cruz, Bolivia
- 5) ZEGARRA TITO (2005), ¿Por qué seleccionar los bronce para su aplicación industrial? Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia
- 6) ZEGARRA TITO – RODNY BALANZA UMSA. Informe final Proyecto: Desarrollo de una aleación antifricción alternativa (Cu-Al-Pb) para la fabricación de cojinetes de la maquinaria que utiliza la industria de la región y el país

<sup>2</sup> Metalcaster's Reference Guide AFS