

SELECCION DE ALEACIONES DE ALTO-CROMO PARA PIEZAS EN EQUIPOS DE BOMBEO.

Andrés Parada ⁽¹⁾, Leonardo Goyos ⁽¹⁾, Tania Rodríguez ⁽¹⁾, Ernesto Zumelzu ⁽²⁾, Carlos Cabezas ⁽²⁾, Guido Santibáñez ⁽³⁾, Eduardo Albertin ⁽⁴⁾, Amilton Sinatora ⁽⁵⁾.

(1) Departamento de Tecnología, Fac. .Mecánica CUJAE ,Habana Cuba

(2) Departamento de Ingeniería de Materiales , Universidad Austral de Chile, CHILE.

(3) Empresa de Fundición OMAMET .Chile

(4).-Instituto de Pesquisas IPN de Materiales , Sao Paulo Brasil.

(5).-Laboratorio de Fenómenos de Superficie ,Fac de Mecánica ,USP, Sao Paulo Brasil.

E-mail (autor de contacto): parada@mecanica.cujae.edu.cu

RESUMEN

Las aleaciones de alto-cromo que actualmente se recomiendan para trabajar en condiciones de desgaste agresivo, generalmente requieren tecnologías de producción con tratamientos térmicos, cuartos elementos de aleación y presentan muy mala o nula maquinabilidad por medios convencionales, muchas son caras y sumándose a esta situación la poca existencia de criterios teóricos y la heterogeneidad de los mismos para la selección de las aleaciones que trabajan o manipulan estos fluidos agresivos, complican la problemática, lo que hace se empleen aleaciones no adecuadas, sea poca la durabilidad y los costos por reposición de las piezas sean grandes o que se empleen aleaciones muy caras donde no se necesiten, siendo las mismas subutilizadas y al final ocurre el deterioro de las piezas. ; faltan más teorías generalizadoras que colaboren en la solución de problemas específicos. En este trabajo se hace un resumen que recoge los resultados de investigaciones llevadas a cabo en industrias azucareras cubanas y chilenas, industrias de materiales de construcción y mineras cubanas y chilenas, laboratorios de ensayos de materiales de la - CUJAE , y de la -USACH -UNIVERSIDAD AUSTRAL de Chile , con la intervención de fundiciones cubanas y la chilena OMAMET (Santiago de Chile). Se trabaja con un diseño de muestras, donde se varían varios elementos químicos de forma factorial : 3^3 (C ; Cr ; Ni), se probaron las probetas de las aleaciones investigadas y varios patrones recomendados por la bibliografía ,todas fabricadas por microfusión y montadas en instalaciones especiales que simulan el trabajo de las piezas con el propio fluido agresivo y en los lugares específicos donde existen los problemas de desgaste , con las mejores y las aleaciones patrones se fabricaron las piezas que fueron finalmente ensayadas en los equipos industriales de bombeo. Se hace un análisis de los resultados y se establecen correlaciones entre características del fluido, condiciones de explotación, composición química de las aleaciones, características estructurales, propiedades de las aleaciones, se dan recomendaciones de aleaciones de alto-cromo prometiendo resultados técnico – económicamente ventajosos para diferentes condiciones de trabajo.

Tópico 2: Materiales Metálicos.

Palabras clave: Alto-Cromo, Desgaste, Abrasión , Bombas.

1. INTRODUCCIÓN

La tarea comenzó dentro de un tema principal de “Desgaste en el Dpto. de TCM ,(Tecnología de Construcción de Maquinaria de la Facultad de Mecánica de la CUJAE – Habana, Cuba.) hace unos 35 años ,con la colaboración de Polonia. Utilizando los buenos resultados de algunas aleaciones No normadas de Alto Cromo ,en la minería del Cobre en Polonia. La tarea se ha continuado y actualizado

Las aleaciones de alto cromo se comenzaron a usar en la industria desde hace unos 65 años. Siguen siendo las preferidas por los fabricantes de piezas para las industrias que procesan minerales y materiales para la construcción. Esta preferencia se debe a la elevada relación W_s/costo , W_s -Resistencia al desgaste, donde influye el bajo costo relativo del Cr comparado con otros elementos de aleación.

Las aleaciones de alto cromo están incluidas en las normas ASTM A 532 tipo II y III, donde los rangos de composiciones químicas son muy amplios, todas con Mo como elemento de aleación (muy caro) y tratamiento térmico (TT), y donde no aparecen reflejadas sus aplicaciones.

En la gran mayoría de las industrias donde las piezas se explotan, los problemas son:

- Se desconocen los aspectos teóricos sobre estas aleaciones; las tecnologías de producción son complejas y requieren de estrictos controles.
- Se siguen empleando materiales tradicionales y clásicos, con mayores costos por la problemática de los desgastes prematuros.
- En otros casos por mala selección, se sub emplean y se usan los alto cromo más caros, con Mo y TT, en lugares donde no se requiere,
- En estos procesos de desgaste los mecanismos son muy complejos e intervienen muchos factores. Los ensayos estándar de laboratorio en la mayoría de los casos no reflejan la realidad.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Objetivos de las Investigaciones: Se hace una selección de las aleaciones a emplear, mediante un análisis de Factores que intervienen en el proceso, se utiliza una Metodología de ensayo con instalaciones de prueba que simulan el trabajo de explotación en las propias industrias. Se emplean probetas de las aleaciones propuestas y materiales clásicos como patrones utilizados en los lugares con problemas de Desgaste..

Se analizan factores externos o de explotación: presiones y ángulos de incidencia del sólido; tipo sólido, Hv-Dureza del sólido, granulometría y composición del sólido. etc.

Se analizan factores internos de la aleación: Composición química, Propiedades mecánicas; características estructurales: tipo de matriz, microdureza de la matriz uHm ; Carburos (K): tipo, %K, morfología: tamaño (N), distancia (d), asimetría a/l.

Se determinan las aleaciones con mejores resultados en las instalaciones de prueba y con las mismas se producen prototipos y se prueban en las instalaciones industriales.

Finalmente se establecen correlaciones matemáticas entre propiedades de las aleaciones y resultados de desgaste para diferentes condiciones de explotación, se preparan nomogramas para seleccionar y relacionar los resultados de Desgaste y la Composición química .Se hacen análisis cualitativo y relacionan propiedades de las aleaciones y resultados de desgaste para diferentes condiciones de explotación.

Investigaciones en la Industria Minera.-

Esta investigación se desarrolló en Nicaro ,Industria del Níquel cubano.

El problema consistía en el elevado desgaste de las piezas de bombas centrífugas que manipulaban las colas del proceso del Níquel. Estas piezas se fabricaban con Ni-hard, hierro blanco con 4% de Ni ,cuya estructura es Martensítica de fundición. Las piezas duraban de 2 a 3 meses.

Se propuso trabajar con los alto cromo sin Mo. Utilizar el Ni para mejorar las propiedades mecánicas fundamentalmente. Trabajar con estructuras directamente de fundición

Caracterización de las condiciones de explotación y del fluido :Se mueve pasta con una presión media, ángulo de 0° a 45° predominando 0° ,todo esto relacionado con la incidencia del sólido ,La composición de la pasta de 60 a 70 % de sólidos (%S) y de éstos 12 a 14 % de sólidos duros (%Sd). Se consideran sólidos duros con Hv_{50} mayor de 900 .y pH neutro.

Fig 1.-Rotor Allen Sherman empleado en cola nuevo de Nihard y con 500 horas de explotación. Fig 1 (a)

Ensayos .- Instalación experimental rotor y carcasa porta probetas que se monta por un by-pass en la línea de cola y simula el trabajo del rotor de la bomba. Fig. 1 (b). Probetas de ensayo Fig. 1 (d).

Las aleaciones probadas fueron una familia de hierros blancos de alto cromo abarcando amplios rangos de composiciones, siguiendo un diseño de experimento donde el numero de puntos maestres, corresponden a los niveles propuestos Fig 1.(c) El : C Cr Ni Son las variables independientes. Se fundieron por el método de cera perdida y la fusión se realizó en el Laboratorio con Horno de Inducción de 1 Kg de capacidad.

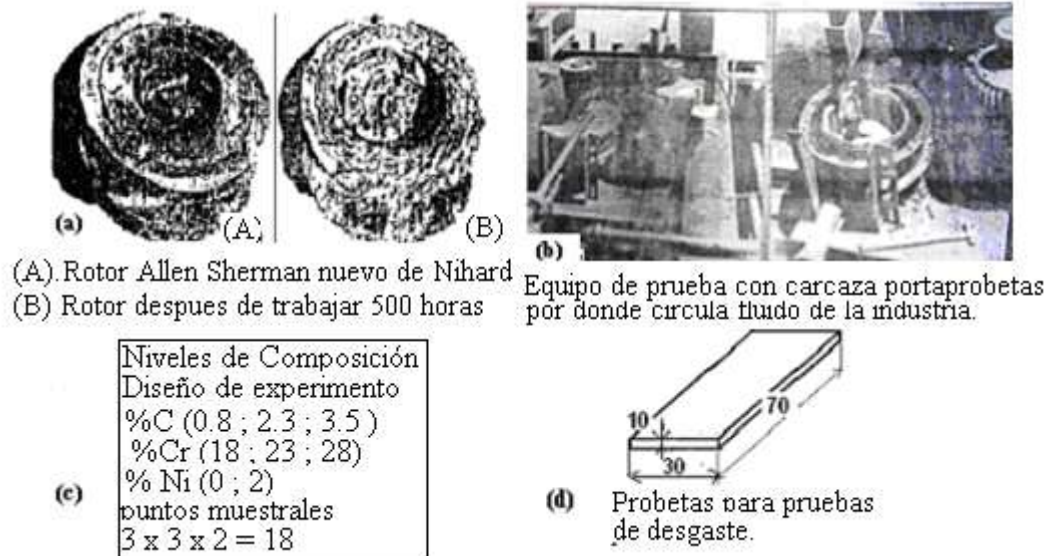


Fig 1.- (a).-Rotor desgastado ; (b) Equipo de prueba que simula el desgaste de los rotores de bombas.(c).- Niveles de Composición química de las aleaciones investigadas.- (d).- Dimensiones de las probetas ensayadas.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.-

Los resultados de Desgaste de las investigaciones en minería y materiales de la construcción. Tabla 1. Las características estructurales y mecánicas de las aleaciones más significativas Tabla 2.

Se hizo un análisis de los resultados. Se utilizó un método de correlación y regresión para modelar los resultados. Se relacionó: Propiedades físicas y características microestructurales con la composición química. La resistencia al desgaste con la composición química y con las propiedades físicas y características microestructurales.

Conclusiones del Trabajo de Investigación en Minería .

El % C tiene un valor significativo en los resultados.

Las mayores resistencia al desgaste se alcanzan cuando la relación Cr/C es 7 a 10.

Las mayores resistencia a la abrasión se alcanzan con %K por encima de 30%.

Las estructuras se corresponden con una combinación de matriz ferrítica con alto cromo, más austenita, más carburos (K) menudos distribuidos por la red.

Los tratamientos térmicos no fueron significativos en las aleaciones con más de 2,5 % de C. Tuvo los mejores resultados entre 0.8 a 2%.

La composición química de las aleaciones con mejores resultados a la abrasión Tabla 3

Se obtuvieron resultados de resistencia a la abrasión 8 a 10 veces mejores que los del patrón Ni-hard. Con ventajas técnico-económicas elevadas. Estos resultados fueron comprobados con piezas fundidas y evaluadas industrialmente.

Recomendaciones para el empleo de estas aleaciones:

Fluidos con Alto % de suspensión de sólidos y poco % de sólidos duros (más de 900Hv):
(0.8 – 2)% Carbono; (23 – 28)% Cromo; (1 – 2)% Níquel

.Fluidos con Alto % de suspensión de sólidos y alto % de sólidos duros (más de 900Hv):
(1.2 – 2.5)% de Carbono; (23 -28)% Cromo; (1-2)% Níquel

Se utilizan estas aleaciones en ambos casos directamente de fundición.

Masas o concentrados con mas del 90% de sólidos y altos % de sólidos duros.

(2.5 – 3)% Carbono, (15 – 28)% Cromo; (1 -2)% Níquel.

En este caso y en algunas de las aleaciones con menos % de Cromo y mayores % de Carbono, se puede emplear el tratamiento térmico de recocido y normalizado.

Tabla 1 .-Resultados de las investigaciones en minería y materiales de la construcción.
Aleaciones más significativas.

Condiciones simuladas Equipos de prueba.	Composición química			Desgaste g/m ² .hr
	%C	%Cr	%Ni	
Mayor grado de erosividad (70% S; 12 % Sd) Tg 0.085 mm – Equipo con carcaza portaprobetas Fig 2	3	28	2	4
	3	23	2	4.5
	2	23	2	4
	2	28	2	5.1
	0.8	28	2	19
	Nihard	4 Ni	2Cr	12
	Norihard	15 Cr	3Mo	4
	FG-23			152
-Alto grado de abrasividad (50%S; 50% Sd, Equipo rotor porta probetas Fig 6	3	28	2	11.1
	3	23	2	11.2
	2	23	2	12
	2	28	2	12
	0.8	28	2	27
	Nihard	4 Ni	2Cr	39
	FG-23			100
	Hadfield			74
- Mayor presión y mayor abrasividad, (100%S ; 100% Sd) máquina rotor de goma de laboratorio con masa seca	3	28	2	903
	3	23	2	1339
	2	23	2	1432
	0.8	28	2	9058
	Nihard	4 Ni	2Cr	3080

En investigaciones de laboratorio con máquina rotor de goma y masa seca para materiales de la industria cementera -.Se probaron probetas similares a las de los ensayos en la industria minera.

Tabla 2 .-Características estructurales y mecánicas de las aleaciones más significativas.

Aleación			Dureza Hrc	uHm	Tipo K	aK	Morfología de los carburos K				
C	Cr	Ni					N	(d)	L / D	Morf	%K
3	23	2	53	462	Cr ₇	0.33	1.7	2.4	2.8	1	38
2	23	2	44	459	“	0.67	1.6	3	2	1	32
2	28	2	40	355	“	0.35	1.2	2.9	2.2	1	34
3	28	2	50	462	“	0.4	1.5	2.3	2.9	1	42
0.8	28	2	30	274	Cr ₂₃	0.65	1.4	4.2	2.8		27

Hrc : Dureza Rockwell C .

uHm : microdureza de la matriz.

Cr₇ ; Cr₂₃ - Carburos de los tipos (Cr , Fe)₇ C₃ ; (Cr , Fe)₂₃ C₆ .

aK: Resistencia al impacto (Kg - m) / cm² .

N.-Tamaño de los carburos

.- (d) Distancia de los carburos

Tabla 3. Aleaciones de mejores resultados.

C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S
2.2	23	2 máx	0.8 a 1 máx	0.6	0.1 max	0.05 max
3.5	28	2 máx	0.8 a 1 máx	0.6	0.1 max	0.05 max

Las mejores estructuras aparecen en la imagen a continuación Fig 4. Ferrita-austenita-cromo endurecida , carburos (K) de cromo del tipo Cr 7 y Cr 23

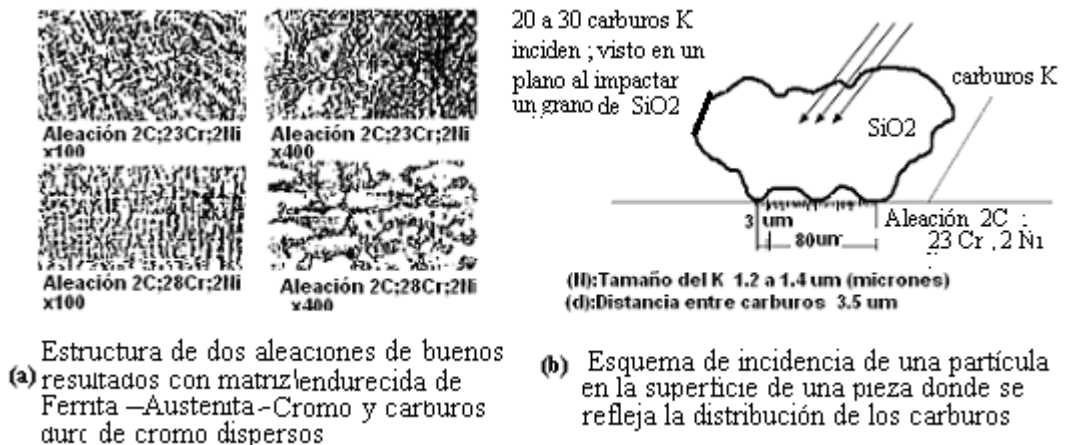


Fig 2.- (a).Estructuras de dos aleaciones (b).-Esquema de incidencia de la partícula sobre la estructura.

Investigaciones en la Industria Azucarera.-

Esta investigación se realiza en varios centrales “Pablo Noriega” ICINAZ, “Manuel Martínez Prieto” y “Camilo Cienfuegos”. En la provincia de La Habana –Cuba.

La problemática es el elevado desgaste y consumo de piezas de hierro gris y de bronce (materiales tradicionales) empleados en la fabricación de bombas centrífugas que manipulan las diferentes soluciones azucaradas .Las piezas duraban en el caso del hierro 1 o menos zafras y en el caso del bronce 1 a 2 zafras.

Se hizo una caracterización de las condiciones de explotación y del fluido. La composición del fluido de 4.8 a 5.3 pH y % de sólidos desde 1.5 a 8 % .El % de sólidos duros es 1.5%. Los ángulos de incidencia 0° a 45° predomina las incidencias en ángulos medios a 0°.La presión de incidencia de los sólidos puede considerarse media.

Ensayos.-

Instalación experimental rotor portaprobetas y carcasa que se monta por un by-pass en la línea de los diferentes lugares donde se desarrolla la investigación, jugo sulfitado , jugo mezclado. Cachaza etc.Fig 3 (a) .- Probetas 3 por aleación .Fig 3 (b)..

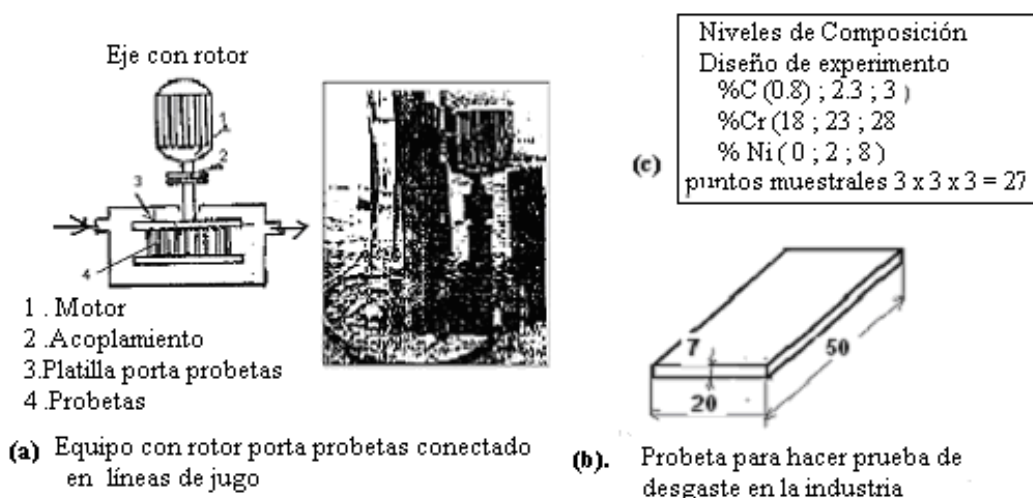


Fig 3.- (a) Equipo de prueba para la industria azucarera (b).-Probetas para hacer las pruebas. (c) Niveles de Composición química de las aleaciones investigadas.

Las aleaciones probadas fueron una familia de hierros blancos de alto cromo abarcando amplios rangos de composiciones, siguiendo un diseño de experimento donde el numero de puntos muestrales corresponden a los niveles propuestos. Fig. 3. (c) Se fundieron por el

método de cera perdida, y la fusión se realizó en el Laboratorio con Horno de Inducción de 1 Kg. de capacidad. El resto de los elementos químicos son constantes y normales para estas aleaciones. Las aleaciones se probaron por unas 200 horas directamente de fundición, 3 probetas por aleación. La resistencia al desgaste se determinó por el índice W_s
 $W_s = \text{diferencia de peso muestra patrón} / \text{diferencia de peso de la aleación}$

El patrón fue el Bronce (85-5-5-5) y el hierro gris FG23

Se determinaron características estructurales y propiedades de las aleaciones :

Composición química, Propiedades mecánicas ; características estructurales : tipo de matriz, uHm; Carburos (K): tipo, %K, morfología: tamaño (N), distancia (d), asimetría a/l.

RESULTADOS.-

Los resultados de Desgaste de las investigaciones azucaradas en los Centrales Azucareros aparecen Tabla 4..Se hizo un análisis de los resultados .Se utilizó un método de correlación y regresión para modelar los resultados. Para encontrar la ecuación de regresión.

Conclusiones del Trabajo de Investigación en el Azúcar.

El % de C tiene un valor negativo en las condiciones ácidas 4.8 a 5.3 pH y poco % de sólidos 1.5 %.

Las mayores resistencias al desgaste W_s se alcanzan cuando la relación Cr/C es mayor de 28 .Las estructuras corresponden a ferrita cromo y en otros casos austenita y ferrita cromo y K diseminados en la matriz y en borde de grano. En los casos de mayor acidez el Ni influye positivamente en la resistencia al desgaste .No siendo así en los de poca acidez. Se obtuvieron resultados de 5 a 7 veces mejores que el bronce patrón (85-5-5-5) y con un 30 % de costos menores .Comparado con el hierro gris FG-18 patrón los resultados fueron de 15 a 20 veces mejores y con ventajas técnico-económicas superiores. Las aleaciones recomendadas con mejores resultados para aplicar en esta industria ,sus rangos de composición aparecen en .Tabla 5:

Se fundieron piezas en pruebas de explotación que corroboraron estos resultados obtenidos en la estación experimental

Tabla 4 .-Resultados de las investigaciones en las industrias azucareras. Aleaciones más significativas.

Condiciones simuladas Equipos de prueba.	Composición química			Desgaste g/m ² .hr
	%C	%Cr	%Ni	
Mayor acidez PH 4.8 (% S = 1.5%) Sd = 1.5%) Jugo sulfitado Equipo con carcasa portaprobetas Fig Menor acidez PH 5.25 (% S = 1.5%) Sd = 1.5%) Jugo mezclado Equipo con carcasa portaprobetas Fig	0.8	28	2	0.038
	2	18	2	0.16
	2	23	2	0.066
	2	28	2	0.045
	3	28	2	0.071
	Nihard 4 Ni 2Cr			0.081
	Bronce 85Cu-5Sn-5Zn			0.98
	Bronce 90Cu -10 Al			0.31
	Niresist 2Cr -23 Ni			0.1
	Fig Menor acidez PH 5.25 (% S = 1.5% Sd = 1.5%) Jugo mezclado Equipo con carcasa portaprobetas Fig	0.8	28	2
2		18	2	0.98
2		23	2	0.53
2		28	2	0.42
3		28	2	1.2
Bronce 85Cu-5Sn-5Zn			2.94	

Tabla 5.

C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S
0.8	23 a 28	2 máx	0.6 a 1 máx	0.8 máx	0.05 max	0.05 max
1.2	28	2 máx	0.6 a 1 máx	0.8 máx	0.05 max	0.05 max

Se fundieron piezas en pruebas de explotación que corroboraron estos resultados obtenidos en la estación experimental.

INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL TEMA:

1 proyecto nacional CITMA ya concluido para la Industria Azucarera Cubana. Se fabricaron rotores y carcasas de bombas que fueron probadas en varias zonas de Centrales Azucareras de Cuba: jugo sulfitado , jugo mezclado, jugo de maceración ,Cachaza con aleaciones de mejores resultados y corroboraron los comportamientos en las investigaciones. Dos proyectos internacionales CONICYT- CITMA, con U.Austral de Chile.Objetivo.-Desarrollo de aleaciones de alto Cromo para el bombeo de soluciones azucaradas de la remolacha..

En el 1er Proyecto se hizo una evaluación del comportamiento a la corrosión de un grupo de estas aleaciones frente a medios simulados y un trabajo de microscopía electrónica en el Laboratorio de ensayos de materiales de la Universidad Austral de Chile

En el 2do Proyecto, se fundieron impelentes, (Fundición OMAMET de Santiago de Chile) con las aleaciones de mejores resultados a nivel de laboratorio, y se probaron en IANSA (Industria de azúcar de remolacha). Los resultados de las aleaciones investigadas: 2.5 C-23 Cr -2Ni fue superior el acero inoxidable 316 empleado por la industria en agua de lechada de cal ,así como también en agua sucia , y el 0.8C-28Cr -2Ni en zonas de mayor acidez y menos sólidos en suspensión.

Dos proyectos internacionales en Laboratorio de Fenómenos de Superficie ,Fac de Mecánica ,USP, Sao Paulo Brasil .En el caso de piezas de molino y bolas. Se han estudiado con buenos resultados aleaciones de alto cromo de buena resistencia al desgaste frente a abrasivos de baja dureza y frente a impactos severos .Se han comprobado estructuras muy ventajosas de aleaciones eutécticas con relaciones Cr/ C ~6 (2,6 a 3.3)%C y (18 a 21) % Cr y tratamientos de temple con revenido alto y temple subcero con revenido bajo.

CONCLUSIONES GENERALES.-

Se hicieron Nomogramas que sirven para la selección de las composiciones óptimas donde se relacionan factores de explotación en Minería (erosión –abrasión) y en el Azúcar (erosión- abrasión – corrosión) con la composición química de los elementos principales de las aleaciones (en estos casos C ; Cr ; Ni) .

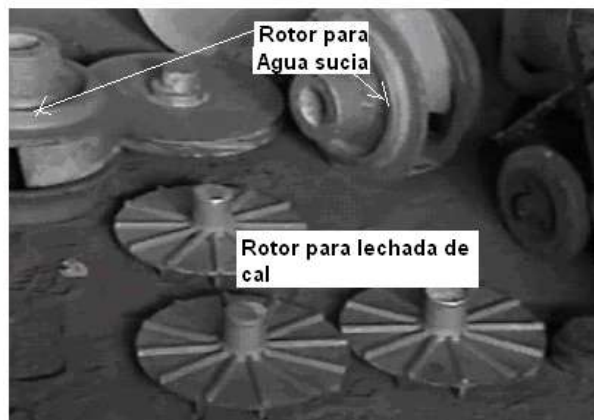


Fig 4 .-Fotos de los rotores fundidos en (Fundición Santiago de Chile OMAMET) para la industria del Azúcar de Remolacha.

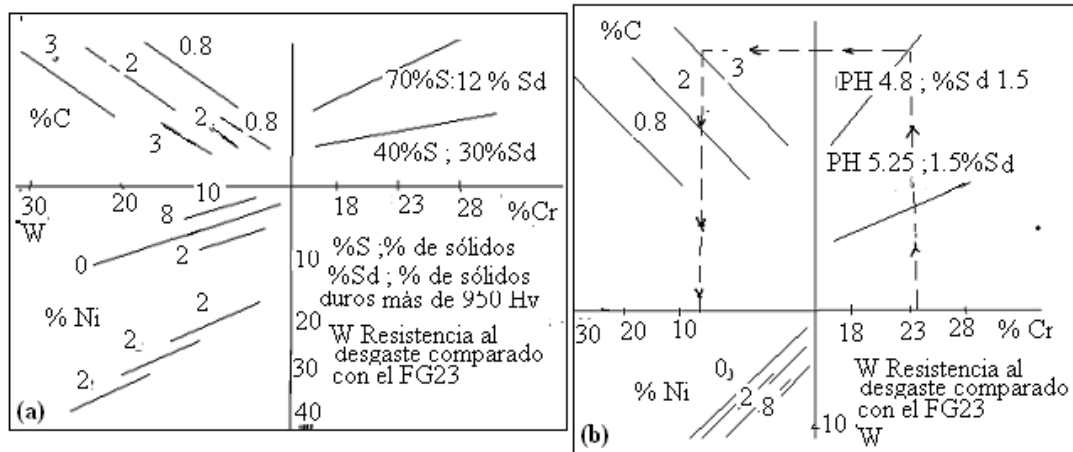


Fig 5 .- (a) Nomograma de las resistencias al Desgaste de las aleaciones de Alto-Cromo comparado con el Hierro Gris FG-23, para condiciones erosivas – abrasivas.
 (b).-Nomograma de las resistencias al Desgaste de las aleaciones de Alto-Cromo comparado con el Hierro Gris FG-23, para condiciones erosivas –corrosivas.

REFERENCIAS .-

- 1).- - Prof .Ing .Waclaw-Sakwa; Dr .Ing Stanislaw Jura;Dr Ing Mariusza Labecki ;MSc Fernando Vazquez.-Determinación de los materiales para rotores (Impelentes) de las bombas con productos para la concentración de minerales de cobre. Gliwice. Polonia. 1970.
- 2) -- Dr.Leonardo Goyos ISPJAE-CUBA Influencia del Ni y el tipo de vertido en la estructura de los hierros al Cr. Rev. Cons.de Maq. (9) 3, 1984, Cuba.;
- 3) - Jackson B Metallurgical and productions aspect of high Cr cast iron for abrasion resisting applications.: foundryman .Vol 67.1974 .
- 4) - Maratray Fundiciones blancas de alto cromo. Resistencia a la abrasión. Colada # 9.Vol 12. 1974.
- 5) - Karl Heinz Zum Gahr .-Microstructure and wear of material Siegen. Germany. 1987.(libro).
- 6) -L Goyos; A. Parada.Influencia del Níquel sobre el volumen de carburos de los hierros al Cr. Revista. Construcción de Maquinaria. Suplemento1984..
- 7) - A. Parada;L. Goyos; Banco y método para probar materiales en la construcción de bombas y sus partes. Revista. Construcción de Maquinaria. 1985.
- 8) -- Zumelzu , Goyos, Cabezas, Parada.Cujae; Universidad Austral de Chile. Wear out and corrosion behaviour of high –chromium(14-30%Cr) cast iron alloys Revista Ing. Materials Proc.Technology .(U.K).2003
- 9) - A.Parada Problemática del Desgaste Abrasivo..1er Congreso Internacional de Ing. Mecánica. Hermosillo. México. Sept 2003..
- 10) - Zumelzu , Goyos, Cabezas, Parada ; Cujae; Universidad Austral de Chile.High-Chromium cast iron alloys (22 – 24%) and their simulated behaviour at the sugar industry. Revista. Industrial and Research. India. 2002. ,
- 11) -Proceeding. Study on the performance of High Chromium Cast Iron Ballls with varied carbide fractions and matrix microstructures. Eduardo Albertin IPT; Amilton Sinatora: USP Giuseppe Pintaude ,USP Sao Paulo Brasil; Andrés Parada Expósito. ISPJAE, Cuba. Evento Abrasión Fukuoka ,Japón .Agosto 2002
- 12) -Microstructural Characterisation and corrosion behaviour of high chromium cast iron alloys in sugar media. Revista. Protection of metals. USA.2003 Zumelzu , Goyos, Cabezas, Parada.Cujae; Universidad Austral de Chile.