

52386

7 501

T553e
1988

UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
FACULTAD DE ODONTOLOGIA
ESCUELA DE ODONTOLOGIA
CATEDRA DE MATERIALES DENTALES
VALPARAISO

"ESTUDIO IN VITRO DE PROPIEDADES FISICAS,
MECANICAS Y QUIMICAS DE ALEACIONES DE
CR - CO DE MAYOR USO EN NUESTRO MEDIO"

SEMINARIO PARA OPTAR AL TITULO DE
CIRUJANO - DENTISTA

PROFESOR GUÍA: DR. JORGE ROTTER PUELMA
GRADO ACADÉMICO: PROFESOR ADJUNTO.

ALUMNOS: PAULINA SAN PEDRO BRAVO
GUSTAVO TORREALBA CUADRA

1988

Dedicatoria

*Con amor a Dios,
a nuestros Padres y Hermanos.*

Paulina y Gustavo

ento
del
con
a
ad
de
de
de

AGRADECIMIENTOS

La
de
de
de
de
de
de

de
de
de
de

de

AGRADECIMIENTOS

Varias personas colaboraron con los autores de esta tésis, en su desarrollo e investigación. Lo complejo del tema, la inexistencia de laboratorios, equipamiento completo y ausencia de bibliografía para desarrollar este seminario en nuestra Escuela, originó la necesidad de acudir a otras instituciones que nos lo facilitaran. Otras circunstancias vieron atrasar y agravar las dificultades encontradas para llevar a buen término este trabajo de investigación.

Asimismo, en trabajos de esta índole, además de las circunstancias desfavorables en cuanto a la implementación técnica y de información actualizada, se le debe agregar el problema que representa la falta de recursos económicos tanto de la Facultad que auspicia el Seminario, como de las instituciones que gentilmente facilitaron sus instalaciones y laboratorios.

Creemos que es menester de momento, sin embargo, agradecer la valiosa cooperación brindada para lograr llevar a buen término el presente trabajo, a muchas personas que de manera desinteresada entregaron su valiosa ayuda.

Los más sinceros agradecimientos al profesor de Materiales Dentales y Prótesis Removible de la Facultad

de Odontología de la Universidad de Valparaíso Dr. Jorge Rotter, por el apoyo, entusiasmo y estímulos constantes, en los momentos de discusión, evaluación de los datos, métodos de análisis y durante toda la realización del seminario.

Además del apoyo moral, el Profesor Rotter, puso a nuestra disposición los recursos experimentales de la Cátedra a la cual pertenece. Por lo tanto vaya nuestra gratitud más sincera y profunda ya que con consejos y experiencia nos asistió y amparó en momentos difíciles, con fe inquebrantable. Su interés y apoyo fueron decisivos para que los autores realizaran su trabajo.

Merecen también reconocimiento todos los otros colaboradores de la misma Cátedra de Materiales Dentales, por la valiosa información, dedicación e interés que mostraron en el desarrollo de la tesis.

No podemos dejar de nombrar a personas de gran calidad humana que siempre estuvieron con nosotros en todo momento, ajenos al acontecer de la Escuela, pero deseosos de que la investigación llegara a buen término. Tal es el caso del señor Juan Basualto, Ingeniero Civil Mecánico, Jefe del Depto. de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María (U.T.F.S.M.); gentilmente se puso a nuestra disposición en todo lo que él pudiese ayudar. En muchas ocasiones nos mostró el camino más conveniente a seguir, con la infinita paciencia y

comprensión que implica el tener que explicar una y otra vez, términos netamente técnicos a quienes no los manejamos habitualmente. De este modo el trabajo terminaba cuando él se convencía de que la explicación estaba totalmente comprendida.

De la misma institución (U.T.F.S.M.) recibimos la valiosa ayuda de un joven investigador de procesos industriales, Ingeniero Ricardo Mir, quien realizó todas las gestiones para conseguir el equipamiento necesario para realizar los ensayos sobre los cuerpos de prueba en estudio. No fue una tarea fácil; ni en lo práctico, ni en lo referente a análisis de información; pero sin duda, gracias al interés mostrado por Ricardo, pudimos obtener resultados.

En honor a la verdad, en más de una oportunidad vimos que todo estaba perdido, no se lograba el objetivo planteado, pero Ricardo nos enseñó que con esfuerzo y tesón, sí es posible conseguir lo que uno se propone. En un momento de quiebre, cuando una parte del seminario ya no iba a salir, conocimos a una gran persona, la señora Carmen Barceló, quien nos propuso, en lugar del costoso análisis químico, imposible de realizar, recurriéramos al análisis estructural de la aleación, mediante observación microscópica. La señora Carmen B. trabaja en el Departamento de Ciencias de la U.T.F.S.M., concretamente en el laboratorio de Análisis Metalográfico.

De la Universidad de Valparaíso, debemos agradecer al Ingeniero Químico, Doctor Jaime Chiang por el apoyo brindado al facilitarnos el laboratorio de la Facultad de Ciencias para que pudiéramos efectuar los ensayos químicos; como también su franqueza cuando nos informó que por razones presupuestarias no era factible realizar el estudio químico, proponiéndonos la alternativa de un análisis nominal de la aleación.

Dedicamos un especial reconocimiento al laboratorista dental, señor Juan Hinojosa, por haber intentado realizar todo el proceso para obtener los cuerpos de prueba con el arduo trabajo que implicó para sí mismo y para el personal a su cargo. Es también necesario señalar, que su laboratorio estuvo totalmente a nuestra disposición las veces que fue necesario y sin ningún costo.

Para obtener los cuerpos de prueba era necesario tener las aleaciones para su fundido. El meollo del seminario no se conseguiría sin las aleaciones. Vimos cerrarse las puertas de muchas importadoras, sencillamente era imposible conseguir 50 grs. de aleación, si pensamos que se vende de 500 grs. para arriba y el presupuesto disponible no permitía su adquisición.

No fue posible conseguir aleación en los laboratorios dentales. Allí funcionan con un stock

programado, sin embargo, al acudir al laboratorio del señor Carlos Cofré, encontramos la ayuda traducida en la venta de 200 grs. de la aleación a un precio muy por debajo de su valor comercial. Este gesto de don Carlos Cofré merece nuestro mayor reconocimiento. Además, al enterarse de que no se había podido obtener los cuerpos de prueba en el laboratorio de don Juan Hinojosa, ofreció el suyo para intentarlos, poniendo a nuestro alcance toda la implementación y tecnología con que cuenta y sin ningún costo para nosotros.

Un especial agradecimiento, al amigo Iván Arce quien luego de mucho trabajo logró tornear el "patrón de acero" con las exactas medidas que propone la A.D.A.

Nuestra gratitud sea también para el señor Pedro Lobos, laboratorista, por su buena disposición en la venta de metal y confección de cuerpos de prueba para nuestra investigación.

Estas páginas de agradecimientos muestran por sí solas que este fue un trabajo en equipo. Los autores se vieron engrandecidos por haber encontrado en todos el entusiasmo y el interés que mostraron en el transcurso de la investigación. Su dedicación constituye una recompensa por los instantes de expectativa y de duda que nos confortó y estimuló para que la jornada llegase a buen término.

INTRODUCTION

OBJECTIVE

REVISION

MATERIAL

INDICE

1. PART

2. PART

3. PART

3.1

3.2

3.3

3.4

3.5

4. PART

4.1

4.2

4.3

4.4

INDICE

	<u>Pág.</u>
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	7
REVISION BIBLIOGRAFICA	8
MATERIA Y SU ESTRUCTURA	8
1. MATERIA	8
2. METALES Y SU ESTRUCTURA	12
3. ESTRUCTURA DE LAS ALEACIONES	16
3.1. Aleaciones	16
3.2. Curvas de enfriamiento de la aleación	19
3.3. Diagrama de fase	20
3.4. Nucleación	23
3.5. Homogeinización	24
4. PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES	25
PROPIEDADES FISICAS	25
4.1. Propiedades no mecánicas	26
4.2. Propiedades mecánicas	32
4.3. Propiedades químicas	48

	<u>Pág.</u>
5. ALEACION DE CROMO - COBALTO	52
5.1. Propiedades que aportan los componentes de la aleación cromo-cobalto	53
5.2. Algunas propiedades de las aleaciones de cromo cobalto	56
6. ESPECIFICACIONES DE LA A.D.A. PARA ALEACIONES DE CROMO-COBALTO	60
6.1. Clasificación de la aleación	60
6.2. Requisitos	60
6.3. Obtención de las muestras y procedimientos para realizar las pruebas	61
6.4. Pruebas químicas	62
6.5. Pruebas físicas	63
6.6. Preparación para la distribución	66
7. REVESTIMIENTOS	67
7.1. Revestimiento con aglutinante de yeso	69
7.2. Revestimiento con aglutinante de fosfato	74
7.3. Revestimiento con aglutinante de sílice	75
MATERIALES Y METODOS	78
Introducción	78
Metodología como ordenamiento general	78
1. DESARROLLO DE LA ENCUESTA	80
Objetivo	80

	<u>Pág.</u>
10. FUNDICION	115
10.1. Repetir fundición y colado	117
10.2. Modificación del patrón de cera	119
10.3. Fundido empleando otra técnica	120
10.4. Modificación del modelo de cera, invertido y función	123
11. OBTENCION DEL CUERPO DE PRUEBA	139
12. ENSAYOS DE LOS CUERPOS DE PRUEBA	142
12.1. Prueba traccional	142
12.2. Prueba de dureza	150
12.3. Prueba de microestructura	155
12.4. Medición de la densidad de las aleaciones	160
RESULTADOS Y GRAFICOS	162
1. RESULTADOS DE LA PRUEBA TRACCIONAL	162
1.1. Cálculo del área de sección transversal	162
1.2. Determinación de las cargas	162
1.3. Determinación de la longitud final y deformación total	163
1.4. Cálculo de la deformación unitaria	164
1.5. Cálculo de la ductibilidad	164
1.6. Cálculo de esfuerzo	165
1.7. Análisis de los gráficos obtenidos	165
Análisis del gráfico para la aleación Jelenko	170
Análisis del gráfico para la aleación Remanium GM-380	172
Análisis del gráfico para la aleación Wironit Blando	174
Análisis del gráfico para la aleación Wironit Duro	176

	<u>Pág.</u>
2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DUREZA	178
3. ANALISIS MICROSCOPICO ESTRUCTURAL	180
4. CALCULO DE LA DENSIDAD DE LAS ALEACIONES	184
CONCLUSIONES	185
Comentarios	188
Sugerencias	189
ANEXOS	190
1. CARTA DE PRESENTACION	190 - 191
2. ENCUESTA	192
3. ANALISIS DE LA ENCUESTA	193
4. INFORMACION ANEXA DE ALGUNAS ALEACIONES	198
4.1. Datos técnicos de la aleación Remanium Gm-380	199
4.2. Datos técnicos de la aleación Wironit Duro	199
4.3. Datos técnicos de la aleación Remanium G-FH	200
4.4. Datos técnicos de la aleación Wirocast	200
4.5. Datos técnicos de la aleación Biosil	201
4.6. Datos técnicos de la aleación Wironit Blando	201
BIBLIOGRAFIA	202

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Teniendo en cuenta la literatura consultada, que se refiere fundamentalmente al uso y a las propiedades físicas y mecánicas de las aleaciones de cromo - cobalto comercializadas (Krupp, Bego, Jelenko, Dentorium), que en general dan buenos resultados, era necesario, al menos en la V Región y en nuestro medio, contar con alguna información anexa al respecto. Con la finalidad de poder normalizar o unificar criterios de comparación. En rigor, no se trata de cuestionar la calidad de la aleación en sí, ni mucho menos, dudar de la veracidad de los datos suministrados por el fabricante, sino de comprobar el resultado de un proceso empleado en nuestro medio para obtener la fundición. Son muchas las variables asociadas que se introducen a la cadena para lograr el metal fundido.

La aleación utilizada es la misma (en estado puro) que suministra el fabricante. Los procesos en la obtención de los cuerpos de prueba, como así mismo en la realización de tests, están normadas por la A.D.A.; específicamente con el N° 14.

A pesar de la divulgación de estas aleaciones, en general, sus propiedades, al menos en Chile, no han sido estudiadas. Son pocos los que investigan con aleaciones complejas (más de dos o tres elementos

componentes) y lo que investigan fundamentalmente es con respecto a la dureza; el resto es más de carácter clínico.

Creemos que, conociendo algo más acerca de metodología de obtención del colado y de sus propiedades intrínsecas, podemos hacer un análisis más detallado de lo que es el comportamiento clínico de la aleación; concretamente como parte de una prótesis removible.

Entretanto, nada se ha hecho en nuestro medio para saber más de las propiedades biológicas, límites de resistencia y de elasticidad y elongación de la aleación de cromo - cobalto (Cr-Co).

De todos los laboratorios consultados que adquieren aleaciones comerciales de procedencia europea y norteamericana principalmente (sin considerar a aquellos que adquieren aleaciones de otra procedencia y de dudosa calidad), ninguno se había planteado la necesidad de hacer alguna prueba para comprobar la calidad de la base metálica.

Tal vez, no sea necesario realizar pruebas a aleaciones que cuentan con un respaldo y con un prestigio, que están avaladas por fábricas de renombre y tradición mundial. La duda lógica surge cuando los laboratorios ocupan aleaciones de "más mala calidad" y de dudoso origen. A veces se usan aleaciones puras con

mezclas de otras aleaciones, muchas veces, fundidas y refundidas. Es indudable que el resultado obtenido así es, "a priori"; de peor calidad que si se ocupa aleación pura y aún más de baja calidad cuando en el proceso se ocupan sólo aleaciones que han sido refundidas con anterioridad.

Nacen las dudas ¿qué es lo que al final lleva el paciente en su boca? ¿cumple con lo mínimo exigido?.

Sería fácil tomar una base protésica cualquiera, fundirla, hacer unos cuantos cuerpos de prueba y someterlos a un examen metal-mecánica y los resultados logrados, compararlos con lo que el fabricante anota. Ahí estaría la respuesta, sería simple, pero no real. Los procesos que emplea el fabricante son ideales, óptimos y con gran despliegue tecnológico. Nada queda al azar. Los resultados así obtenidos, los anotan en las cajas de empaques del producto comercial.

En nuestro medio, los procesos son más arcaicos, se introducen variables de trabajo que afortunadamente son repetitivas en su mayoría (hornos de calidad baja, investido, proceso de centrifugación, etc.) y como tales, están presentes siempre en el proceso de la obtención del colado. (Como dato ilustrativo en la V Región existen sólo tres hornos de inducción de alta

frecuencia o de resistencia de silicio-carburo; de estos, dos son relativamente modernos: el de la Universidad Técnica Federico Santa María y el del laboratorio de Carlos Cofré.

Es esa la razón por la cual este seminario se llevará a efecto. Es un paso previo de investigación. Es una forma de normar, de dar pautas para que en el futuro sí se pueda, objetivamente, dar respuestas a las dudas anteriormente planteadas.

La Cátedra de Materiales Dentales así lo ha considerado y nosotros hemos aceptado el reto. El camino no es fácil, pero sí se puede alcanzar la meta propuesta. Este será el trabajo que inicie a otros trabajos.

Al considerar en el presente estudio un análisis químico, se trató de ampliar la información respecto de la aleación ya fundida. Finalmente y en el transcurso de las investigaciones, se pudo comprobar que era inoficioso realizar dicho estudio. Las razones fueron de índole variada:

- Imposibilidad económica para su realización. Reactivos y procesos carísimos.
- No existen en la región laboratorios implementados para realizar tales pruebas.

- Los resultados obtenidos al trabajar con aleaciones puras y de prestigio no iban a ser diferentes a los que preconiza el fabricante. Ni siquiera era factible conocer el contenido en porcentaje de los componentes de la aleación. Sólo se podría determinar la existencia o no del elemento y a costo muy alto.
- Se sugirió que el análisis químico se realizara sólo en forma nominal.
- La estructura química de las aleaciones varía muy poco, independiente del número de veces que hayan sido fundidas. En lo que sí hay cambios es en la disposición metalográfica, razón por la cual decidimos realizar un análisis microscópico de la estructura del metal. Este análisis es factible de realizar las veces que uno estime necesario y a un costo bastante inferior al análisis químico.

Nota: El cambio del análisis químico fue oportunamente comunicado y discutido con el profesor guía (Lunes 29 de Mayo de 1989). Expuestas las razones decidimos realizar el estudio con microscopía en la U.T.F.S.M. y el análisis químico sería del tipo nominal.

Por tanto, las pruebas son normadas y de fácil repetición. Los valores obtenidos son de índole netamente prácticos y por lo tanto, bajo ciertas especificaciones,

comparables con los datos obtenidos por proceso de fundición de aleaciones de cromo-cobalto para uso odontológico.

Esa es la importancia de este seminario, base para otras investigaciones ya no de aleación pura, sino que de la aleación que realmente ocupan los laboratoristas en la confección de bases metálicas para prótesis removible.

505-

7.

7

2

OBJETIVOS

OBJETIVOS

Generales

1. Hacer un estudio bibliográfico de propiedades mecánicas, físicas y químicas de aleaciones metálicas de uso odontológico en general y de Cr-Co en particular.
2. Seleccionar métodos que permitan la comprobación in vitro de propiedades de aleaciones en general.
3. Buscar los tests que entreguen más información para evaluar propiedades de aleaciones.
4. Obtener experiencia en proyectos de investigación.

Específicos

1. Determinar las aleaciones de Cr-Co de mayor prestigio.
2. Investigar procesos de obtención de colados en laboratorios (patrón, investido, colado).
3. Investigar composición química nominal de las aleaciones utilizadas.
4. Determinar en forma práctica propiedades mecánicas/metalográficas de las aleaciones utilizadas.
5. Comparar en el mayor número de casos los resultados obtenidos con los proporcionados por el fabricante.
6. Entregar información normada, para que en futuros trabajos se pueda emplear la información obtenida, como también métodos de trabajo utilizados en esta tésis y se puedan analizar bases protésicas de Cr-Co mediante cuerpos de prueba.

1. 1. 1.

2. 2. 2.

3. 3. 3.

4. 4. 4.

5. 5. 5.

6. 6. 6.

7. 7. 7.

REVISION BIBLIOGRAFICA

8. 8. 8.

9. 9. 9.

10. 10. 10.

11. 11. 11.

12. 12. 12.

13. 13. 13.

14. 14. 14.

15. 15. 15.

16. 16. 16.

17. 17. 17.

18. 18. 18.

MATERIA Y SU ESTRUCTURA

1. MATERIA

Es todo aquello que tiene masa y que ocupa un lugar en el espacio.

Está formada por partículas relacionadas entre sí, de modo que si lo hacen en forma estable, constituyen un sólido; si no tienen una ubicación fija forman un líquido; y si carecen de la tendencia a relacionarse forman un gas.

La temperatura (aplicación de calor) puede modificar la relación entre las partículas y por lo tanto cambiar el estado de la materia; esto depende fundamentalmente de la fuerza de cohesión; si es grande será difícil modificarla y por lo tanto se requerirá una alta temperatura de fusión como es el caso de los elementos sólidos.

La materia se compone de elementos "infinitamente" pequeños y de los cuales cada día se conoce algo más, pero por razones prácticas estableceremos que el átomo es la partícula más elemental, capaz de mantener las características originales de la materia.

Los átomos se dividen en dos grupos importantes: los metálicos y los no metálicos. De aquí se originan los

materiales; estos son materiales metálicos cuando se forman sólo por unión de átomos metálicos; son materiales cerámicos cuando se combinan átomos metálicos con átomos no metálicos; y son materiales orgánicos cuando el átomo central es el carbono (intermedio entre metal y no metal).

Más importante que los átomos mismos resultan las uniones que estos pueden generar y las estructuras resultantes.

En los metales las uniones producidas entre átomos iguales se llaman enlaces metálicos; estos se forman a partir de dos átomos que tienden a perder electrones en su última órbita, (cationes), los cuales circulan libremente (se llama nube electrónica) y son compartidos por todos los átomos unidos.

Este tipo de unión forma una estructura cristalina ordenada y regular, un reticulado espacial, ya que cada átomo se dispone equidistante del otro, rodeados todos (los demás átomos) por la nube electrónica. Cada metal tiene su propia estructura cristalina. Este tipo de unión permite la obtención de un material sólido.

En los materiales cerámicos las uniones se producen entre átomos diferentes, y se denominan "enlaces iónicos" o "electrovalencia" cuando un átomo cede un electrón y el otro lo capta (unión de un catión con un anión). Se

llaman enlaces covalentes cuando átomos diferentes y determinados se unen compartiendo electrones para completar su órbita más externa. En ambos casos no se produce nube electrónica y se origina un reticulado espacial sólido. La unión entre átomos determina el estado sólido.

Las uniones en materiales metálicos y cerámicos son de tipo primario y por lo tanto difíciles de romper.

En materiales orgánicos, el átomo principal el carbono, se une a otros por medio de enlaces covalentes, formando moléculas.

Las moléculas se unen entre sí para producir un estado sólido y originar una configuración espacial reticular más bien irregular; no forman estructura cristalina.

La unión molecular origina un dipolo permanente cuando dentro de la misma molécula se produce en una zona un mayor densidad electrónica que en otra. Este dipolo es difícil de destruir en relación al dipolo fluctuante.

El dipolo fluctuante se da en moléculas totalmente neutras y simétricas, donde por un momento se produce una mayor densidad de electrones en una zona, pero después ésta se traslada a otro sitio. Las moléculas que forman

un dipolo fluctuante y se unen entre sí forman sólidos fáciles de romper o fundir.

Aspe La unión que logran las moléculas entre sí, son de tipo secundario y se conocen como fuerzas de Van der Waals.



2. METALES Y SU ESTRUCTURA

Los metales son elementos químicos con características específicas que las diferencian de elementos no metálicos y de metaloides (elementos con algunas características de los metales, pero que no son metales).

Químicamente se define como metal a todo elemento que origina iones positivos estando en solución.

Los metales por ser elementos sólidos tienen una estructura cristalina. Cada cristal (o grano) dispone sus iones espacialmente en forma tridimensional en tres diversas modalidades:

- a) Cúbica a cuerpo centrado: Esto es un cubo donde en cada vértice, se ubica un ión y además hay otro al centro del cubo.
- b) Cúbico a cara centrada: En este tipo hay un ión en cada vértice y otro en el centro de cada cara del cubo.
- c) Hexagonal compacta: En la cual la tapa superior e inferior, hexagonal tienen un ión en cada vértice y además otro al centro; y hay una capa intermedia de tres iones entre la tapa superior y la inferior.

La disposición que tenga un cristal dependerá de factores como la distribución de carga de los átomos y del radio atómico.

Esta configuración espacial cobra importancia cuando se quiere entender el comportamiento físico de un metal. Por ejemplo un metal de configuración cúbico a cara centrada es más dúctil que otro de tipo cúbico a cuerpo centrado. Un cristal puede conducir calor en una dirección más rápida que en otra, o ser más resistente en una dirección, que en otra. Los cristales pueden verse afectados por cambio de temperatura pasando de una estructura a otra con una importante variación de las propiedades mecánicas.

Los cristales, también llamados granos cristalinos de los metales, adquieren formas diversas a causa de la alta energía superficial que poseen; y pueden ser observados con la ayuda de un microscopio de reflexión.

La formación de los granos se produce cuando un metal o aleación fundida, comienza a enfriarse, entonces a partir de núcleos o de impurezas comienza la cristalización. Estos núcleos se comportan como dendritas, van creciendo como un sistema reticular tridimensional ramificado hasta que termina la solidificación y todos los granos se contactan. Entre los cristales quedan pequeños espacios de unos pocos átomos, llamados intergranular o límites del grano.

A veces, la estructura cristalina no es perfecta y tiene defectos llamados dislocaciones; con una tensión alta esta dislocación se traslada a lo largo de un plano

de deslizamiento, al límite del grano y si la tensión es mayor que el límite elástico, se produce una deformación permanente del metal. También agentes químicos producen en la zona intergranular reacciones diferentes que en la zona del grano.

Se pueden controlar, en parte, algunas propiedades de los metales si se controla el tamaño del grano. Por ejemplo: un enfriamiento paulatino origina pocos núcleos y grandes; un enfriamiento rápido produce gran cantidad de núcleos pequeños, por lo tanto una estructura granular refinada que se traduce en un metal más duro y con un mayor valor de límite elástico.

Curva de enfriamiento de los metales

La solidificación de los metales se produce cuando el metal puro enfría. Durante este proceso ocurren varios eventos característicos que se reflejan claramente en una curva temperatura - tiempo.

Al tener un metal fundido y luego comenzar a enfriarlo ocurre un descenso paulatino de la temperatura (A-C Fig. N° 1), sobrepasando un punto B que corresponde a la temperatura de congelación o solidificación. El punto C se conoce como sobre enfriamiento; en éste comienza la unión de los primeros iones para formar núcleos de cristalización (cristales) con lo que aumenta la temperatura hasta el punto D, manteniéndose constante hasta terminar la formación de estos cristales (E);

paralelamente a este último evento se produce una exotermia (durante la meseta D-E) en la cual se libera el calor latente de solidificación o calor latente de fusión debido a la diferencia de energía entre el estado líquido y sólido; mucho mayor en el primero que en el segundo.

De E-F continúa la pérdida de calor hasta llegar a temperatura ambiente.

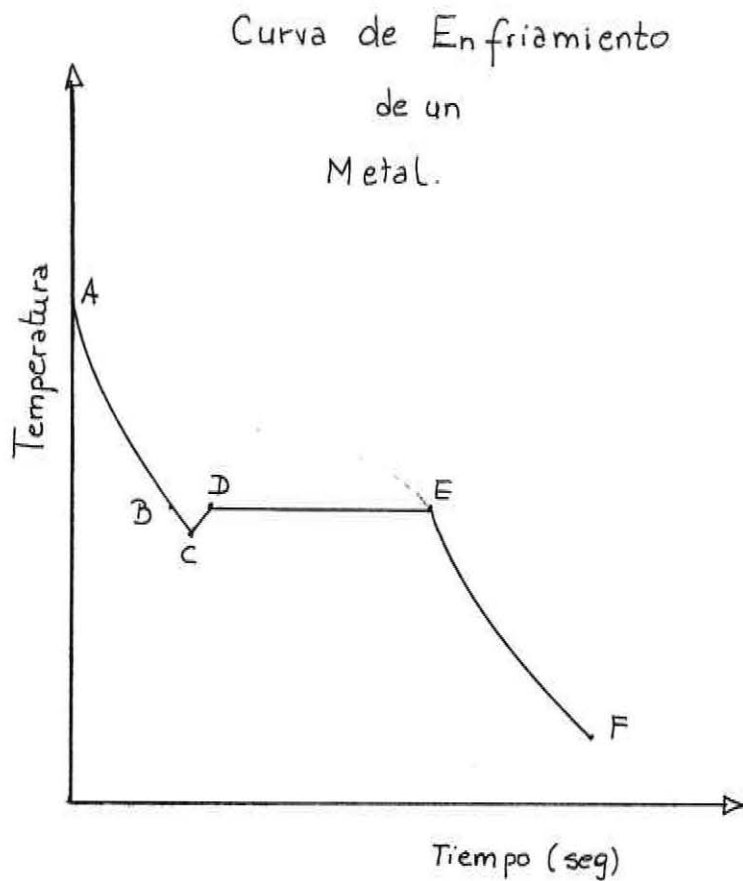


Fig N°1

3. ESTRUCTURA DE LAS ALEACIONES

3.1. Aleación

Es la combinación de dos o más metales en todas sus posibles combinaciones, con características que difieren de los metales individuales.

Las aleaciones según el número de elementos que las componen se llaman: binaria (si son de dos), ternarias (si son de tres), etc.

En metalurgia se dice que existe una sola fase, en la aleación cuando hay una parte homogénea, físicamente diferente y que puede ser separada. La materia puede presentarse en fase o estado sólido, líquido o gas; pero en un mismo sólido pueden darse diferentes fases.

Las aleaciones fundidas normalmente están en solución, pero al enfriarse pueden dar cuatro diferentes posibilidades:

- a) Los metales de la aleación A-B pueden ser completamente insolubles en estado sólido; esto implica que hay zonas que tienen metal A y otras que sólo tienen el metal B. Estos son los eutécticos.
- b) Hay metales que son parcialmente solubles en estado sólido. En éstos se dan zonas donde ambos se combinan y otras donde se presentan cada uno por separado.

- c) En ocasiones, se observan metales que tienen gran afinidad uno por otro, en una formulación química exacta. Estos son los compuestos intermetálicos. Se caracterizan por ser duros, frágiles y poco dúctiles.

Otra alternativa es la solución sólida; es aquella en la cual los átomos de los metales se sitúan en una red espacial común, totalmente al azar, por lo tanto se forma una sola fase.

La mayoría de las aleaciones utilizadas en odontología son del tipo solución sólida.

En la solución, el metal que conserva su red espacial, es el solvente y el otro el soluto. En el caso de que ambos tengan igual red espacial, el solvente es el que ocupa más de un 50% de las posiciones espaciales disponibles en la red.

La solución sólida se puede dar en dos modalidades o configuraciones espaciales:

- a) Solución sustitucional o solución sólida ordenada; en ella los átomos de los metales se ubican en posiciones muy específicas dentro de la red espacial.
- b) Solución intersticial; en ésta los átomos de soluto se sitúan entre los átomos de solvente y se da principalmente en soluciones donde el radio atómico de

cada componente es distinto; el solvente tiene el diámetro mucho mayor que el soluto.

El grado de solubilidad sólida en los metales depende de algunos factores tales como:

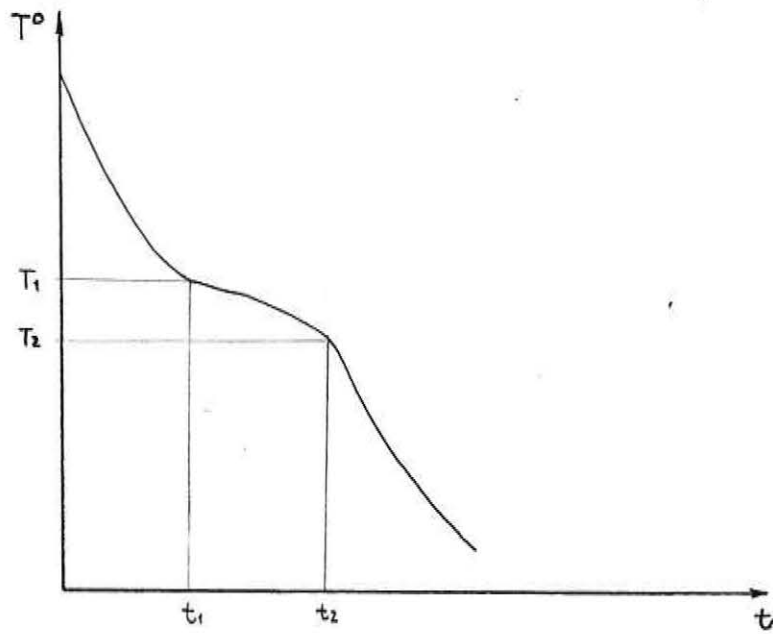
- a) El tipo de red debe ser el mismo; cúbica a cara centrada es el más frecuente encontrado en odontología.
- b) El tamaño de los átomos debe ser semejante, si la diferencia de éste es mayor a un 15%, se originan las fases intermedias en la solución cuando esta solidifica.
- c) La afinidad química también es importante en la capacidad de solubilidad; así cuando esta afinidad es muy alta, también se tienden a formar fases intermedias.
- d) Los metales con valencias y tamaños iguales forman fácilmente soluciones sólidas.

En una solución sólida aumenta la dureza y el límite elástico y disminuye la ductibilidad respecto a los metales por separado. Esto se produce porque al incorporar átomos de soluto a un solvente, por sustitución, se hace menos factible el deslizamiento de los átomos, debido a que se produce una deformación en la

red espacial; en resumen se incrementa así la resistencia de la aleación.

3.2. Curva de enfriamiento de la aleación

Calentar una aleación hasta su punto de fusión o un poco más y luego dejarlo enfriar, nos permite ir tomando los datos de temperatura y tiempo en una gráfica y obtener una curva de enfriamiento. (Fig. N° 2)



Curva de Enfriamiento de una Aleación .

Suponiendo que se trata de una aleación sólida binaria, y tenga dos metales con diferente punto de fusión; el metal A con mayor punto de fusión que el metal B. La aleación solidifica dentro de un intervalo de

temperatura a diferencia del metal puro que lo hace a una temperatura fija. El material que cristaliza justo bajo la temperatura T1 contendrá preferentemente metal A, así como bajo la temperatura T2 cristalizará un material con una mayor concentración del metal B. Se obtiene finalmente una gradiente de concentración dentro de la aleación sólida y se forman núcleos en su estructura. Esto es importante, porque la tendencia a la corrosión se origina a partir de estas diferencias de composición que llevan a la formación de células electrolíticas en la superficie de la aleación.

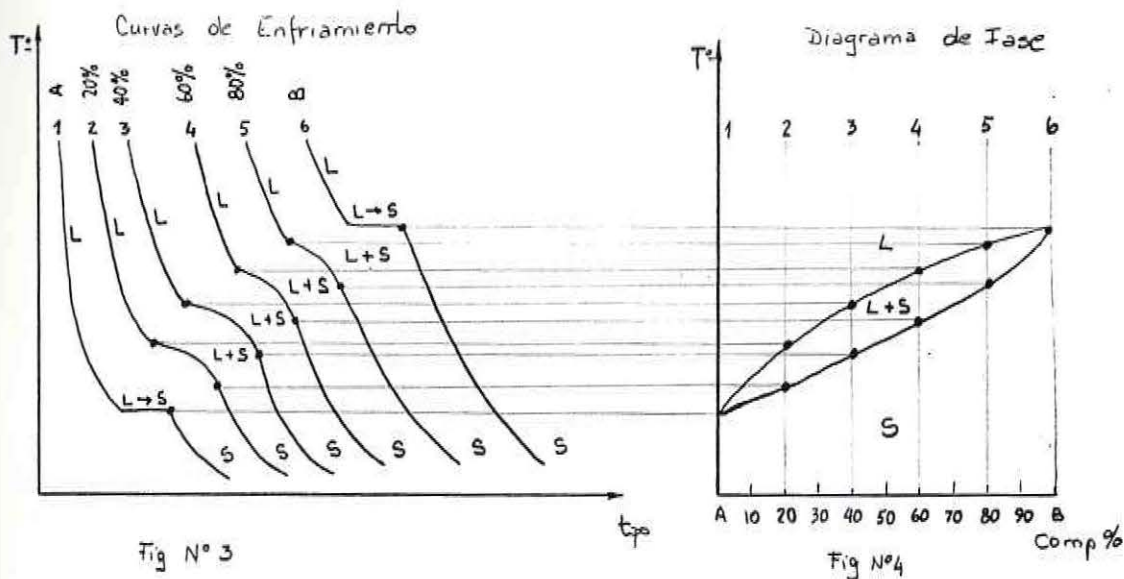
3.3. Diagrama de fase

Para un tipo de aleación, con diferentes composiciones de sus elementos, puede efectuarse una serie de curvas de enfriamiento (Fig. N° 3). Con éstas se obtienen las temperaturas de cristalización de cada composición de la aleación y se grafica en un diagrama (Fig. N° 4). Se toman para cada curva de enfriamiento dos puntos; uno la temperatura líquidus, originada con la formación del primer sólido; el segundo punto es el llamado temperatura sólidus y se da con la solidificación del último líquido. Estos puntos se unen para formar una curva lisa obteniéndose así el diagrama de fase.

La línea inferior del diagrama, llamada línea sólidus (dada por la unión de los puntos sólidus), indica que bajo ella la aleación está completamente sólida. La

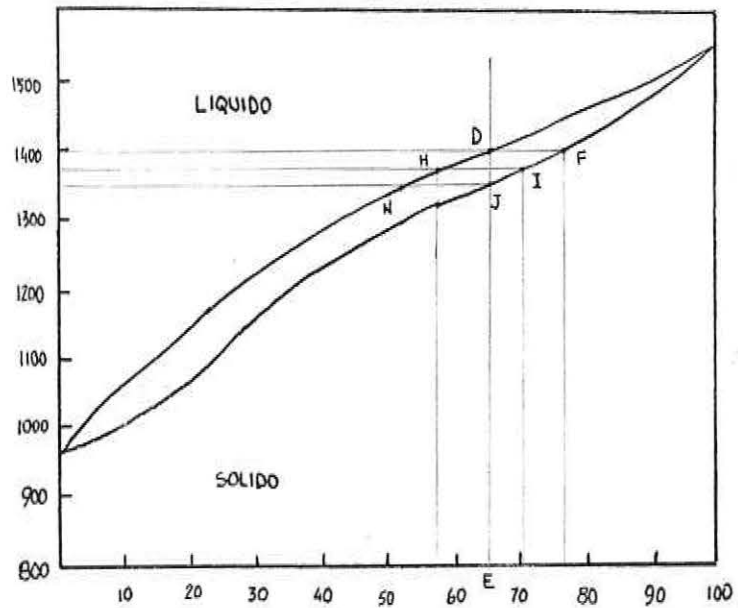
línea superior se denomina línea líquidus (unión de puntos líquidus) e indica que sobre ella la aleación está líquida en su totalidad. Entre ambas líneas se encuentran las dos fases (líquido y sólido) presente.

DETERMINACIÓN DE UN DIAGRAMA DE FASE POR ANÁLISIS TÉRMICO



Esta gráfica permite conocer la composición de la fase sólida y líquida a cualquier temperatura del rango de fusión, y por lo tanto predecir las características de una aleación.

DIAGRAMA DE FASE DE COMPOSICIÓN DE UNA ALEACIÓN A-B



Un ejemplo de como obtener información útil de la gráfica es el siguiente: para una aleación A-B compuesta por un 65% de metal A y un 35% de metal B, como muestra la línea D-E (Fig. N° 5), a 1500°C toda la aleación está en fase líquida y a 1400 °C se forma la primera fracción sólida de metal (pto. D). La composición de la aleación que solidifica primero se obtiene trazando una línea D-F paralela al eje horizontal, llamada línea de enlace, y proyectado el punto F en el eje horizontal. F es el punto de intersección con la línea sólidos y su proyección para este ejemplo significa un 77% de metal A en la primera porción de aleación que solidifica.

A una temperatura de 1370°C la aleación está en parte sólida y en parte líquida. Trazando la línea de enlace horizontal H-I se busca la intersección con la línea líquidus y con la línea sólidus; aquí puedo determinar que la fase líquida contiene un 58% de metal A, mientras que la fase sólida tiene un 71% del mismo metal (se obtiene por la proyección de H e I en el eje horizontal).

El punto J muestra la última porción de líquido que solidifica a la temperatura de 1340°C . Se vuelve a trazar la línea de enlace (J-N) y se obtiene el porcentaje de metal A de la fase líquida (52%) y el porcentaje de metal A de la fase sólida (65%). Bajo el punto J la aleación está totalmente sólida y se compone de un 65% de metal A.

Este diagrama de equilibrio puede darse cuando se cuenta con el tiempo suficiente para producir una difusión atómica que alcance el equilibrio.

3.4. Nucleación

La nucleación es un proceso que se realiza por estratos. Cuando una aleación cristaliza lo hace como una estructura nuclear, de modo que el primer material que solidifica es rico en el metal con más alto punto de fusión; mientras que el material que cristaliza en último término tiene una mayor proporción del metal de más bajo punto de fusión. El potencial de nucleación se observa en

las líneas líquidas y sólidas; éste es mayor en tanto más distantes estén estas dos líneas,

3.5. Homogéinización

Este proceso consiste en calentar la aleación hasta una temperatura justo bajo la temperatura sólida, durante unos minutos, para permitir la difusión de los átomos dentro de la aleación y establecer una estructura más homogénea, eliminando la nucleación. Luego se enfría más o menos rápido. Así se eliminan las diferencias de composición de la aleación y se obtienen mejores propiedades como una mayor resistencia a la pigmentación y a la corrosión; aumenta la ductibilidad ya que esta nueva estructura más homogénea ofrece menos resistencia al deslizamiento.

4. PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES

Las propiedades de los materiales son sus características propias y muestran el comportamiento de estos ante agentes químicos, físicos y fuerzas.

El conocimiento acerca de las propiedades de los materiales, permite darles una utilización adecuada según las necesidades requeridas y, por otro lado, ayudar a determinar las normas mínimas y especificaciones que posibilite una estandarización y comparación de éstos, sin tener que hacer largas y costosas pruebas clínicas.

Las propiedades físicas pueden ser extensivas (dependientes de la cantidad de materia existente) o intensivas (independiente de la cantidad de materia).

Las propiedades físicas son un extenso capítulo que abarca múltiples aspectos de la materia, pero comprende un grupo que aporta gran cantidad de información por lo cual normalmente se ve aparte; estas son las propiedades mecánicas.

PROPIEDADES FISICAS

* No mecánicas:

- Color
- Densidad
- Conductibilidad térmica
- Conductibilidad eléctrica

- Calor específico
- Calor de fusión
- Coeficiente de variación térmica dimensional
- Energía superficial

* Mecánicas:

- Resistencia a la fluencia
- Resistencia a la tracción
- Resistencia torsional
- Resistencia final
- Porcentaje de alargamiento
- Límite proporcional
- Límite elástico
- Módulo elasticidad
- Dureza
- Fatiga
- Maleabilidad
- Ductibilidad
- Viscoelasticidad

Muchas son las propiedades y pruebas físicas y mecánicas de los metales, pero sólo basta hacer algunas pruebas para caracterizar una aleación o metal determinados, ya que arrojan mucha información.

4.1. PROPIEDADES NO MECANICAS

4.1.1. Densidad

Es la cantidad de materia por unidad de volumen (masa/volumen); también se entiende como una unidad de

sustancia es más liviana o más pesada que una cantidad semejante de agua. Normalmente para comparar se utiliza 1 cm . de agua a 4°C.

La unidad de medida es gramo partido por centímetro cúbico.

$$D = \frac{M}{V} \quad \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

D: densidad

M: masa

V: volumen

Cualquier material que tenga una densidad inferior a la del agua flota en ésta.

4.1.2. Coeficiente de variación térmica dimensional

Es la variación de longitud que sufre una unidad de material por cada grado centígrado de variación de temperatura. Esta propiedad depende de las fuerzas de unión de los átomos de las moléculas. Es un cambio, producto de un aumento de temperatura por debajo del punto de fusión.

Un valor alto implica que las fuerzas de cohesión entre partículas son débiles y por lo tanto con el efecto de la temperatura (aumento), pueden separarse fácilmente.

Normalmente el coeficiente de variación térmica dimensional se expresa: $X \cdot 10^{-y}$

Cuando se va a realizar un colado es importante tener esta propiedad presente para compensar la contracción producida al enfriarse el metal.

4.1.3. Energía superficial

Los átomos y/o moléculas experimentan fuerzas de atracción entre sí, pero aquellos más superficiales, como no tienen a quien atraer, producen fuerzas libres conocidas también como energía superficial.

Los materiales que tienen uniones químicas primarias tienen mayor energía superficial que las que tienen uniones de tipo secundaria.

4.1.4. Conductibilidad térmica

Es un índice de flujo de calor por unidad de gradiente de temperatura.

Es la cantidad de calor en calorías, por segundo que atraviesa un cuerpo de 1 cm. de espesor con una sección transversal de 1 cm²., cuando la diferencia de temperatura es de 1°C, se expresa en: cal/seg/cm²./°C/cm.

Esta propiedad es compleja de determinar en la práctica, por lo que se restringe su uso.

Una alta conductibilidad térmica es positiva en metales que son base de prótesis para mantener una

respuesta adecuada de los tejidos orales a los estímulos calientes y fríos, y así mantener la salud de éstos.

4.1.5. Conductibilidad eléctrica

Es la capacidad de un material para conducir una corriente eléctrica.

La conductibilidad se puede expresar como su inverso, la resistibilidad; esta se determina en un material homogéneo, de una sección transversal regular, a una temperatura constante.

La resistibilidad es: directamente proporcional a su longitud inversamente proporcional a la superficie transversal.

4.1.6. Calor específico

Es la cantidad de calor en calorías que utiliza una unidad de masa para aumentar en un grado su temperatura. La referencia es el agua (cantidad de calor para aumentar la temperatura de un gramo de agua a un grado de 15 a 16°).

El calor específico depende de la masa (100 gr. de agua requieren más calorías que 30 gr. de agua para aumentar en un grado su temperatura).

El agua tiene el calor específico de mayor valor, 1, los metales tienen valores inferiores a éste.

Esta propiedad del calor específico es importante en el caso de los colados metálicos, porque en el proceso de fusión, determina la temperatura que se aplica para alcanzar el punto de fusión. Al ser un valor más bien bajo, el tiempo de calentamiento no se alarga.

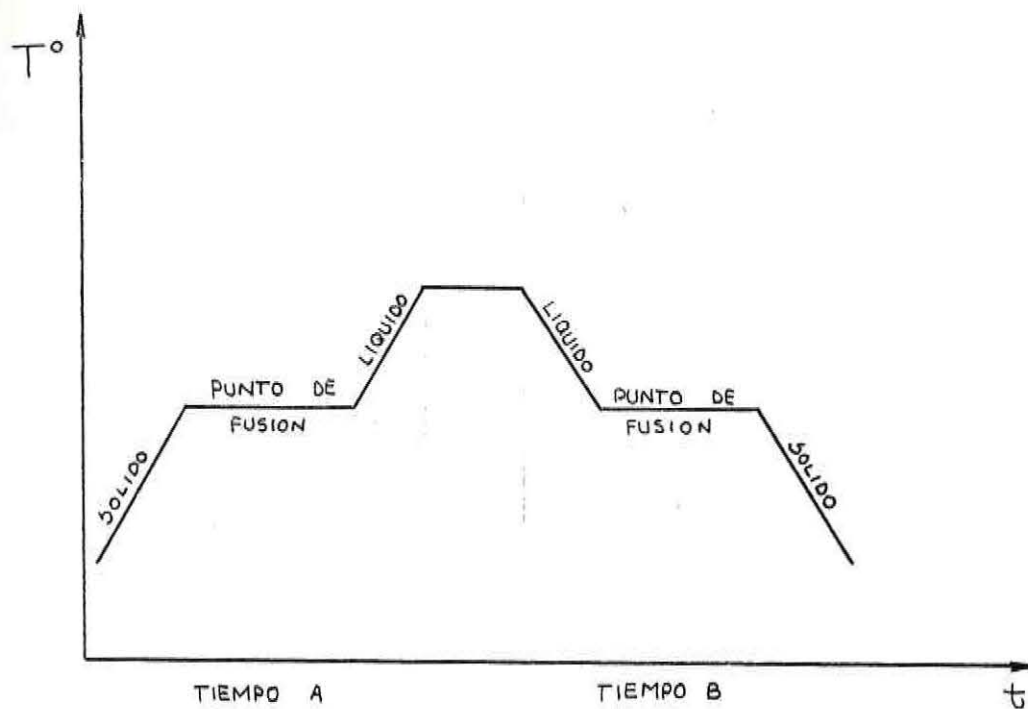
4.1.7. Calor de fusión

Es la cantidad de calor en calorías requerido para transformar 1 gramo de sustancia sólida en líquido.

$$L = \frac{Q}{M}$$

L: calor de fusión
Q: calor absorbido total
M: masa de sustancia fundida

Frente a una gran cantidad de masa, se necesita también una mayor cantidad de calor para llegar a la fusión. Para llevar un material a la fusión se pasa por una curva característica; alcanzado el punto de fusión la sustancia comienza su licuefacción, pero para completarla en todas sus partículas requiere una cantidad adicional de calor. El calor de fusión aplicado está siendo constantemente consumido mientras la sustancia está líquida; contrariamente cuando el material comienza a solidificar el mismo calor es liberado, sin variar la temperatura.



Con un régimen de calentamiento regular, el tiempo que tarda una sustancia para pasar de un estado sólido al líquido depende de la masa.

Para metales preciosos los valores de calor son inferiores a los de los metales no preciosos.

Para realizar el colado de una aleación que tenga un alto valor de calor de fusión y de calor específico, se debe tener muchísimo cuidado, pues implica un calentamiento prolongado de la aleación en la cual se puede producir una oxidación excesiva que alterará las propiedades mecánicas de ésta.

4.1.8. Temperatura de fusión y solidificación

La temperatura a la cual funde o solidifica un material es de gran importancia; en materiales utilizables en boca ésta debe ser inferior a la temperatura corporal para no lesionar los tejidos orales. Para materiales que requieren procedimiento de laboratorio, este dato también es importante, porque determina el tipo de molde y el sistema de calentamiento a emplear.

4.2. PROPIEDADES MECANICAS

4.2.0. Fuerza

Es la acción que produce o tiende a producir o a cambiar el movimiento de un cuerpo. Se origina siempre entre dos cuerpos y se expresa en kilogramos o libras. Todos los cuerpos que reciben una fuerza sufren una deformación aunque sea pequeña.

4.2.1. Peso

Es un tipo especial de fuerza; es la fuerza de gravedad o fuerza de atracción entre la tierra y la masa de la materia.

4.2.2. Presión

Es la fuerza aplicada sobre una superficie. La presión es inversamente proporcional al área en que se ejerce. Se expresa:



$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}}$$

La unidad de medida es fibras/pulg.²

4.2.3. Tensión

Es una fuerza interna originada por un cuerpo que recibe una fuerza externa teniendo igual magnitud que esta última, pero en sentido inverso.

Normalmente se usa para su medición la fuerza externa aplicada sobre una superficie del cuerpo.

Se expresa:

$$\frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}} \quad \text{Unidad} \quad \frac{\text{Kg.}}{\text{Cm}^2} \quad \text{o} \quad \frac{\text{libras}}{\text{pulgada}^2} .$$

La tensión de una estructura varía directamente proporcional con la fuerza e inversamente proporcional al área. Este punto adquiere gran importancia en restauraciones dentales, donde las fuerzas actúan sobre superficies pequeñas y las presiones ejercidas se hacen considerables. Un ejemplo son los retenedores de prótesis parciales, alambres ortodóncicos y pequeñas obturaciones.

Tipos de tensión: a) traccional
b) compresiva
c) tangencial

- a) Tensión traccional: Aquella que se produce en un cuerpo cuando es sometido a dos fuerzas en una misma recta y en direcciones opuestas.

Las moléculas que forman el cuerpo deben resistir la tendencia a ser separadas. Se acompaña de una deformación por tracción, en la que el cuerpo se alarga y se hace más fino.

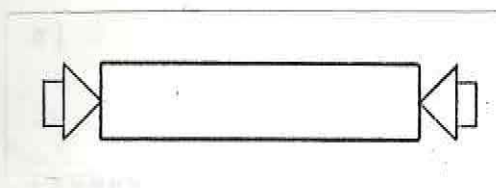
- b) Tensión comprensiva: Ocurre en un cuerpo que recibe dos fuerzas de igual dirección y de sentido opuesto, las moléculas del cuerpo son forzadas a acercarse unas a otras; en otras palabras el cuerpo se acompaña de una deformación por compresión, con lo cual se acorta, engruesa y aumenta su diámetro.

- c) Tensión tangencial: Tensión producto de dos fuerzas dirigidas una hacia la otra, no en una misma recta sino en direcciones próximas o paralelas.

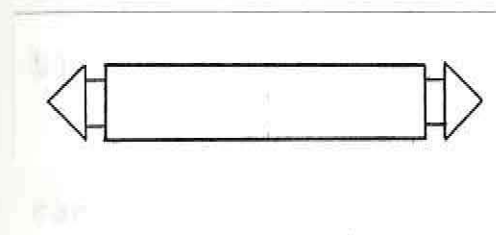
En este caso se produce un desplazamiento de dos zonas del cuerpo en forma de corte.

Posteriormente se produce una deformación tangencial.

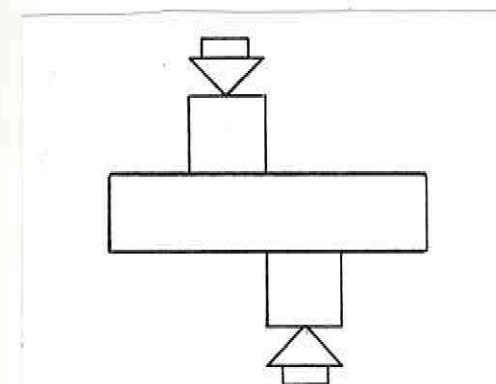
Estos tres tipos de tensión se dan simultáneamente en un mismo cuerpo, aunque una predomine sobre otra.



Tensión por tracción.



Tensión por compresión.



Tensión tangencial.

4.2.4. Deformación

Es el grado de modificación que sufre un cuerpo cuando se le ha aplicado una tensión.

Una tensión compresiva origina un acortamiento del cuerpo y un aumento de su diámetro, contrariamente una tensión traccional produce un alargamiento y adelgazamiento del cuerpo.

El valor de la deformación varía para cada tipo de material y con la magnitud de la tensión.

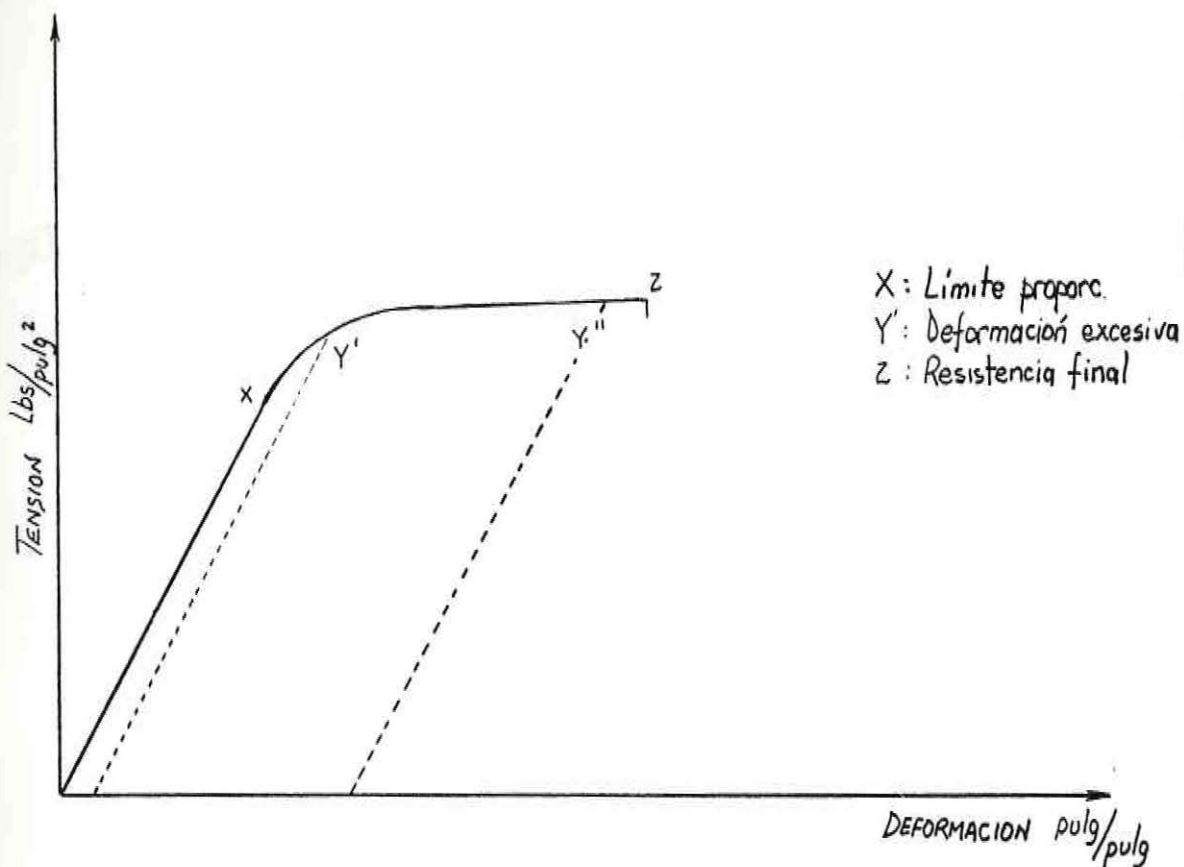
La deformación se expresa:

$$\text{Deformación: } \frac{\text{Modificación}}{\text{Longitud original}}$$

La deformación puede ser permanente o plástica; si es plástica, cuando se elimina la tensión se produce una recuperación, aunque no en un 100%.

La tensión y deformación son propiedades que se relacionan como causa-efecto, cuando un cuerpo recibe una fuerza externa. Esta relación es muy útil para caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales.

CURVA TENSION DEFORMACION



4.2.5. Límite proporcional

Es la mayor tensión que puede producirse en un material, manteniéndose la relación de proporcionalidad directa entre tensión y deformación (ley de proporcionalidad de Hooke).

Bajo el límite proporcional no hay deformación permanente y las deformaciones obtenidas producto de alguna tensión, son de tipo elástico, por lo tanto una vez que desaparece la tensión, el cuerpo adquiere su longitud original.

El límite proporcional es por lo tanto también un límite elástico del material.

Si se desea obtener estructuras estables ante las tensiones recibidas, debe tenerse en cuenta que estas induzcan tensiones inferiores al límite proporcional.

4.2.6. Límite elástico

Es la tensión máxima que puede soportar un material que al ser librado de la carga, permite que recobre su condición original.

El límite elástico y proporcional corresponden a la misma tensión en la práctica, pero los conceptos son diferentes, ya que el límite elástico se refiere al comportamiento elástico de un material y el límite

proporcional es la proporcionalidad directa que se mantiene entre tensión y deformación.

Los materiales tienen diferentes límites para las fuerzas de tracción y compresión, por lo tanto la resistencia para ambas fuerzas son también diferentes.

4.2.7. Resistencia a la fluencia o resistencia Yield

Es la tensión que aplicada a un cuerpo produce una pequeña deformación permanente limitada del material.

Esta deformación ya ha excedido el límite elástico, por lo tanto esta no desaparece cuando se elimina la tensión.

En cualquier material odontológico debe evitarse la llegada a la resistencia de fluencia, para evitar un fracaso funcional.

4.2.8. Resistencia final

Es la máxima tensión necesaria para fracturar un cuerpo.

- a) Resistencia final a la tracción: Es la tensión traccional máxima que puede sufrir un material antes de fracturarse a causa de una fuerza traccional.
- b) Resistencia final a la compresión: Es la tensión compresiva máxima que puede soportar un cuerpo antes de romperse.

Ambas se calculan:
$$\frac{\text{Carga máxima (tracción - compresión)}}{\text{Sección transversal original}}$$

La unidad es: Kg/mm^2 . o libras/pulg.^2

En odontología es importante evitar la llegada a este punto, en que fallan todas las características del material.

4.2.9. Alargamiento

Deformación producida en un cuerpo a raíz de una fuerza traccional. Existe de dos tipos:

- Alargamiento no permanente, es bajo el límite proporcional y directamente proporcional a la fuerza aplicada. Se calcula durante la prueba misma.
- Alargamiento permanente, ocurrido más allá del límite proporcional y llega hasta la fractura. Se calcula una vez fracturado el material; poniendo dos puntos fijos a ambos lados de la fractura cuando estos segmentos están juntos.

El alargamiento general se presenta en porcentaje.

$$\text{Alargamiento} = \frac{\text{Aumento de longitud}}{\text{Longitud original}} \times 100$$

El porcentaje de alargamiento incluye el ocurrido bajo y sobre el límite elástico.

Materiales con un alto porcentaje de alargamiento son muy dúctiles mientras que un bajo porcentaje implica una pequeña capacidad de alargamiento, ser frágil y quebradizo.

4.2.10. Reducción de la sección transversal

Ocurre cuando se aplican fuerzas traccionales simultánea y proporcionalmente con el alargamiento. También es un cambio permanente que termina con la ruptura del material.

Los materiales frágiles tienen por lo tanto una pequeña disminución de su sección transversal al ser sometidos a la tracción.

Metales más dúctiles tienen un alto valor.

Gracias a esta propiedad se pueden comparar la maleabilidad, fragilidad y ductibilidad de diferentes metales y aleaciones.

4.2.11. Módulo de elasticidad: (Young).

Es la rigidez relativa de un material dentro del rango elástico.

Es la inclinación de la curva tensión-deformación dentro del rango elástico de un material.

Una curva empinada proporciona un módulo elástico alto, por lo tanto para deformar ese material se requiere de una gran tensión; estas aleaciones o metales son poco deformables, rígidos; hay gran fuerza de atracción entre las moléculas de ese material.

Una curva poco pronunciada corresponde a un módulo elástico bajo y a un material muy deformable, como por ejemplo la goma.

El módulo de elasticidad se determina en la curva tensión deformación, calculando la unidad de deformación por unidad de tensión bajo el límite elástico.

Módulo elástico: $\frac{\text{tensión}}{\text{deformación}}$

Unidad Lib./pulg.²

4.2.12. Sustancia rígida

Es aquella que requiere de una gran fuerza para poder deformarse. Es firme.

4.2.13. Módulo de rigidez

Propiedad que mide el módulo de elasticidad en el esfuerzo tangencial o torsional.

4.2.14. Maleabilidad

Es la capacidad de los metales y aleaciones de deformarse permanentemente ante descargas compresivas que forman ángulo recto con la dirección de tales fuerzas.

Se conoce también como la capacidad de obtener láminas a través del martilleo de un metal.

Se conoce también como la capacidad de obtener láminas a través del martilleo de un metal.

4.2.15. Ductibilidad

Es la capacidad de un material de poder deformarse permanentemente a consecuencia de cargas traccionales. Es el estiramiento de un metal para producir un alambre.

Normalmente un alto grado de maleabilidad y ductibilidad, se presenta en metales con alto porcentaje de alargamiento.

4.2.16. Fragilidad

Es la ausencia de deformación permanente. Los materiales frágiles poseen un porcentaje de alargamiento inferior a 5%.

4.2.17. Resiliencia

Es la capacidad de un material de almacenar energía al ser deformado elásticamente.

Esta propiedad es muy útil en metales utilizados para resorte, porque pueden almacenar una gran cantidad de energía, la que es liberada cuando éste se suelta.

4.2.17. La resistencia es directamente proporcional al límite elástico e inversamente proporcional al módulo de elasticidad. Los materiales más resilientes son muy aptos para recibir golpes, ya que al deformarse elásticamente pueden absorber la energía del impacto.

4.2.18. Tenacidad

Energía requerida para romper un material; es una característica de los metales dúctiles y maleables.

4.2.19. Fatiga

Ruptura de los materiales ante tensiones bajas, producto de tensiones intermitentes repetidas, durante un tiempo prolongado. Estas tensiones producen en el material microgrietas que terminan transformándose en fracturas.

4.2.20. Viscoelasticidad

Propiedad de los materiales en que luego de aplicarse una fuerza inferior al límite elástico y luego retirársela, queda con una deformación residual de tipo permanente.

En los materiales viscoelásticos, la forma de la curva tensión - deformación depende del modo de aplicación de la fuerza. Una carga lenta hace actuar principalmente al componente viscoso y por lo tanto se produce una mayor deformación.

4.2.21. Creep estático

Deformación permanente producida por una tensión inferior al límite proporcional, mantenida en el tiempo. Se expresa en porcentaje de cambio respecto a la longitud inicial.

4.2.22. Creep dinámico

Es la deformación permanente ocasionada por tensiones inferiores al límite elástico, aplicadas repetidas veces durante breves períodos.

4.2.23. Dureza

Es la resistencia que ofrece un material a la penetración permanente. Se utiliza para analizar el comportamiento de la superficie de un material. Se trata de rayar una probeta de un material con un indentador, aplicándole una carga determinada.

Mientras más grande sea el número, mayor es la dureza.

Existen diferentes métodos para medir la dureza, la variación está en el tipo de penetrador utilizado. Los resultados obtenidos de los diversos sistemas no son equivalente y por lo tanto no pueden ser comparados entre sí.

En muchas ocasiones se utiliza la dureza para tener una idea de comportamiento del material ante la

fricción o ante agentes abrasivos, pero no siempre tienen mucha relación.

En cada sistema de dureza, una bolita o cono de acero es forzado dentro del material, impulsado por una fuerza o peso uniforme. La penetración se mide en su ancho, profundidad o superficie. Al ser una carga fija, la penetración del indentador es inversamente proporcional a la resistencia que ofrece el material a esta acción.

* Sistema Brinell

Mide la resistencia a la penetración de una pequeña bolita de acero de 1,6 mm (1/16") de diámetro, cuando sufre una carga de 12,6 kg. (27,7 lib).

El valor obtenido se llama BHN.

El cálculo se realiza relacionando la carga (constante) con la superficie de indentación que depende de la bolita empleada.

Mientras más pequeña es la superficie de penetración, más duro es el material.

Este sistema no se puede usar en materiales frágiles, porque al hacer la huella se supera el límite proporcional.

Una desventaja de este método es que se mide la penetración final, la cual es menor a la penetración

inicial, pues hay que restarle la recuperación producida entre ambas.

$$\text{BHN} = \frac{L \text{ (carga)} \cdot 30''}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{D: diámetro bolita en mm.}$$

2 (superficie)

* Sistema Knoop o microdureza

Aplica un indentador diamantado de forma piramidal con aristas longitudinales que forman un ángulo de 172,5° y transversales con un ángulo de 130°, durante 30 segundos.

El valor es el KHN (Knoop hardness number) alto significa que el metal es más duro.

Este sistema se utiliza para medir dureza no uniforme en una misma estructura y además abarca una amplia escala de dureza, debido a que al indentador puede aplicársele diferentes cargas.

La superficie del material a probar debe ser tratada con sumo cuidado, lo que muchas veces se transforma en una desventaja.

$$\text{KHN} = \frac{L}{l^2 C_p}$$

L: carga aplicada.
l: longitud de la diagonal mayor de penetración.
Cp: constante que relaciona a "l" con la proyección de la superficie.

* Dureza Rockwell

Es una serie de sistemas donde puede variar el tipo de indentador (bolita o cono de metal) y la carga; se mide la profundidad de la penetración, (en lugar de la superficie de la huella, como en el sistema anterior), con un cuadrante micrométrico.

RHN: Rockwell hardness number. Indica la resistencia a la penetración.

* Dureza Vickers

Prueba que usa como indentador una pirámide de diamante de 136° , con una carga definida que varía de 1 kg. a 120 kg.

La indentación medida es una superficie cuadrada. El sistema es semejante al Brinell o Knoop y se utiliza especialmente para materiales de alta dureza. El número de dureza Vickers se calcula:

$$\frac{\text{Carga aplicada}}{\text{Superficie de penetración que resulta}}$$

* Sistema Bierbaum

Es el menos usado; emplea como indentador un cubo de diamante de 90° que se carga con un peso fijo de 3 gr; éste produce una ranura en la superficie del material, a la cual se le mide su ancho en micrones con un microscopio micrométrico, correctamente calibrado.

4.3. PROPIEDADES QUÍMICAS

Los metales y aleaciones reaccionan con su medio química o electrolíticamente, lo que ocasiona importantes cambios, como son alteración de su aspecto estético y de sus propiedades mecánicas.

4.3.1. Pigmentación

Es el cambio en superficie que sufre un metal, manifestado como una variación leve o pérdida de su brillo o color. La causa puede ser depósitos blandos formados principalmente por placa bacteriana, residuos alimenticios y drogas que contienen fierro o mercurio, y el color resultante va del amarillo al pardo. Los depósitos duros (sarro) también son causa de pigmentación, y se hacen más oscuros con el paso del tiempo y en los fumadores (todo esto se da intrabucalmente).

4.3.2. Corrosión

Es la capacidad de reacción química de metales y aleaciones con su medio; muchas veces comienza como una pigmentación que con el tiempo aumenta su ataque originando productos químicos que causan la desintegración del metal. Mientras más intensa es la corrosión, más nocivos resultan sus productos y mayor resulta la alteración de las propiedades estéticas y mecánicas del material.

En la corrosión influyen: la humedad, cambios de temperatura, soluciones ácidas y básicas, tensiones e impurezas.

Existen básicamente dos tipos de corrosión; normalmente ambas se dan juntas.

Una es la corrosión química o seca, en la cual se produce una combinación directa entre elementos metálicos y no metálicos.

El otro tipo es la corrosión electro-química también conocida como húmeda, pues en ella interviene el agua u otro líquido electrolítico. En este caso se origina una celda electrolítica, en la cual se distingue un ánodo (metal) que se ioniza y pierde electrones y un cátodo (otro metal u otra zona del mismo) que recibe ó reduce los electrones producidos por el cátodo; todo esto en un medio acuoso, como por ejemplo, la saliva. Esto es un circuito con dos polos.

La corrosión depende de la serie de fuerza electromotriz, (FEM), la cual ordena a los elementos de acuerdo a su capacidad de disolución, o tendencia a ceder electrones. Aquel material que sea más reactivo, originará la salida de electrones. Una vez que el medio se satura de iones, la corrosión se detiene.

La corrosión electrolítica se puede producir en diferentes zonas de un mismo metal, cuando éste se encuentra en un medio como la saliva; varía con la concentración de los componentes de ésta, con los cambios de pH, con la tensión superficial, etc. Esto consiste en una salida de iones desde el metal al medio en un punto y descarga de iones hidrógenos en otro; todo es posible debido a que la superficie metálica no es totalmente homogénea.

Las aleaciones, al tener fases diferentes, también tienen distinto potencial de electrodo, lo cual hace circular una corriente de electrones y produce corrosión. Aún en soluciones sólidas se puede dar este mismo proceso por las diferencias de potencial que se producen entre los granos de la estructura y la zona intergranular.

Las impurezas que contenga una aleación contribuyen a la corrosión. También las irregularidades en la superficie de un metal conducen a la corrosión. Un poro obliterado con residuos alimenticios actúa como una pila; se crean diferencias de tensión de oxígeno; el fondo del poro funciona como ánodo y la superficie como cátodo y así salen átomos desde la base de éste a la superficie, con lo cual el poro se hace más profundo.

La tensión también induce la corrosión.

Los metales nobles tienen menor tendencia a la corrosión, pues su fuerza electromotriz es muy positiva y por lo tanto, no ionizan fácilmente; gracias a esta cualidad se usan como capa protectora contra la corrosión para algunos metales.

La corrosión puede ser disminuida significativamente con el cromo, razón por la cual se ha incorporado a aceros inoxidable, fierro y otras aleaciones, con el fin de hacer uso de esta propiedad. El objetivo se logra gracias al efecto pasivo del cromo, que produce una rápida oxidación superficial, muy homogénea, la cual se transforma en una capa protectora contra futuros ataques al metal. El titanio y aluminio también poseen efecto pasivo.

5. ALEACION DE CROMO - COBALTO

Las aleaciones a base de oro han sido muy utilizadas como base para prótesis removible, pero ante dos importantes inconvenientes como son su poca disponibilidad y alto costo, se ha buscado reemplazarla.

La nueva aleación debe cumplir ciertos requisitos básicos:

- Carecer de efectos fisiológicos perjudicables, tanto para operador como para paciente.
- Debe resistir adecuadamente a los fluidos orales, sin sufrir cambios físicos o químicos.
- Debe requerir una técnica lo más simple posible.
- Debe tener propiedades físicas satisfactorias.
- Debe ser económica y fácilmente disponible.

Aunque las aleaciones de cromo y cobalto (Cr-Co), no cumplen completamente todas estas exigencias, son muy utilizados junto a las aleaciones cromo-níquel, para base de prótesis, en el medio odontológico.

Entre sus ventajas destacan:

- Bajo costo.
- Son livianas.
- Tienen buenas propiedades mecánicas.

Como desventajas presentan:

- La técnica para obtener colados es compleja.
- Requieren altas temperaturas de fusión (870° - 1300° C).
- Son de alta dureza.
- Su pulido y limpieza requieren de un equipo especial.

Para la aleación de cromo-cobalto la Asociación Dental Americana (ADA), establece en su especificación N° 14, todas las normas que ésta debe cumplir; entre las cuales exige que el porcentaje del peso de cromo-cobalto de la aleación mínimo es un 85%. De éste, un 30% es de cromo (máximo) y un 62,5% a 70% de cobalto.

5.1. PROPIEDADES QUE APORTAN LOS COMPONENTES DE LA ALEACION CR-CO

- Cromo (Cr)

Otorga dureza y da resistencia a la corrosión, gracias a su efecto de pasividad. (El cromo es electroquímicamente muy activo, por lo cual produce una rápida oxidación en superficie y forma una capa de óxido crómico que protege a toda la estructura de descomposiciones posteriores).

- Cobalto (Co)

Da gran resistencia y dureza.

También hay otros microelementos como:

- Molibdeno (Mo): 5-7% endurece la aleación.

- Tungsteno (W): endurece la aleación y mejora la resistencia.
- Boro: (B): es desoxidante, aumenta la dureza en forma importante, disminuye la ductibilidad, amplía el intervalo de fusión.
- Manganeso (Mg): endurece la aleación.
- Silicio (Si): son depuradores de óxidos para evitar la oxidación de otros elementos durante la fusión, aumentan la fluidéz de la aleación fundida.
- Berilio (Be): es endurecedor y aumenta la resistencia, disminuye la temperatura (pto.) de fusión, refina la estructura granular, es potencialmente tóxico a la inhalación y también sus vapores en lugares poco aireados.
- Fierro y cobre: (Fe) y (Cu): favorecen el endurecimiento.
- Carbono: al 0,2% es el principal elemento productos de resistencia. Al 0,25% produce fragilidad.

La incorporación del carbono tiene un valor crítico, puesto que pequeñas variaciones tienen un importante efecto en la resistencia, dureza y ductibilidad de la aleación.

El carbono se une a otros metales formando carburos, los cuales al precipitar fortalecen la aleación; pero un exceso de éstos, produce gran fragilidad.

Este punto se debe tener muy presente durante la

fundición del metal para realizar el colado; si se usa una llama de oxiacetileno carbonizante se incorpora carbono a la aleación y es muy difícil controlar la cantidad.

Las diferentes aleaciones presentes en el mercado, ofrecen algunas variaciones en su composición, pero esto no resulta significativo en alterar las propiedades de la aleación. Más importante resulta la manipulación de ésta, el modo de realizar colado, y la incorporación de componentes como el carbono, nitrógeno u oxígeno; por lo tanto se debe ser muy cauteloso con el tiempo, la temperatura de eliminación de la cera; el método, tiempo y temperatura de fusión y de colado, el tamaño y ubicación del perno, para no alterar las propiedades potenciales de la aleación.

5.2. ALGUNAS PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES DE CROMO-COBALTO

5.2.1. Color

La aleación ya colocada y pulida es de color blanco plateado y de aspecto brillante.

5.2.2. Densidad

El promedio es 8 a 9 g/cm². (es la mitad de la densidad del oro).

Es importante esta propiedad en aparatos protésicos superiores, en los cuales, por fuerza de gravedad, aumentará el peso relativo del colado, recargando adicionalmente a los dientes pilares. También debe tenerse en cuenta, que durante la etapa de colado, debido a esta baja densidad, se puede correr el riesgo de no llenar completamente el molde con la aleación y obtener así un cuerpo metálico defectuoso.

5.2.3. Temperatura de fusión

Para las aleaciones tipo I es mayor a 1300°C; para las aleaciones tipo II es inferior a 1300°C y normalmente están entre los 1275 y 1290°C.

Debido a los altos valores de temperatura requeridos por esta aleación, se necesita de hornos con capacidad adecuada, equipo de pulido especial, investimento resistente, etc.

5.2.4. Propiedades mecánicas

* Resistencia a la tracción

Es más o menos independiente a la manipulación y se asemeja a la del oro.

Su valor es mayor a 700 MPa o 100.000 psi

El valor mínimo es 6.300 kg/cm² o 89.605 Lp²

A pesar de esta resistencia puede haber fracturas de bases metálicas a causa de cargas repetidas, bajo la deformación permanente.

* Resistencia a la fluencia

Es la cantidad de tensión necesaria para producir una deformación permanente en la estructura. Es importante cuando ocurre una deformación permanente en el retenedor de una base metálica.

Normalmente es de 51.100 a 64.000 Lib/pulg.²

* Alargamiento

Es un indicador de fragilidad o ductibilidad relativa. Normalmente cuando aumenta el porcentaje de alargamiento disminuyen ligeramente las propiedades de resistencia.

El valor va de un 1,9 a un 6,2%.

* Dureza

Se usa el sistema Rockwell, ya que su indentador no sufre tanta deformación como la bola de acero utilizada

en el sistema Brinell, en caso de materiales duros.

La dureza es importante, porque determina la facilidad de terminación y pulido, la resistencia al rayado, y la resistencia a la abrasión de la base metálica de cromo-cobalto en boca.

El valor en sistema Rockwell 30 N es entre 51 y 60. En el sistema Brinell es 200.

* Módulo de elasticidad

Indica grado de rigidez o flexibilidad. Un mayor módulo de elasticidad, implica mayor rigidez. En ocasiones una estructura rígida es importante para una distribución adecuada de las fuerzas.

La aleación cromo-cobalto es mucho menos flexible que la aleación de oro.

El módulo de elasticidad puede sufrir importantes alteraciones entre las diferentes aleaciones, por variantes introducidas durante la preparación de la muestra, el colado, o el enfriamiento; por cambios menores en la composición de la aleación como son la incorporación de carburos, nitritos metálicos, etc.

Los valores promedio son 24,5 a 30 x 10⁶ libras/pulg.²

Ya se han detallado los valores promedio de algunas propiedades de las aleaciones cromo-cobalto. Conviene recordar que dichos valores no siempre se obtienen claramente en pruebas experimentales; esto se debe a que frecuentemente quedan irregularidades en el colado, las cuales si son superficiales serán fácilmente visibles; no sucede lo mismo con las producidas al interior del metal, que son detectables con rayos X.

La tendencia a producir defectos en la aleación está directamente relacionado con el tamaño y forma del colado, dirección y ubicación del perno, temperatura del metal y del molde al hacer el colado.

El pulido de las aleaciones de cromo-cobalto es complejo por la alta dureza del material. En primer término se emplea un chorro de arena que elimina las rugosidades de la superficie del colado y restos de investimento. A continuación se realiza un pulido electrolítico; en un baño electrolítico muy ácido se conecta una corriente que va desde el ánodo, donde se ubica el metal rugoso, al cátodo. Con un electrolito y una densidad de corriente adecuada, los electrolitos se sitúan en los poros de la superficie metálica rugosa y las prominencias se disuelven.

Por último se hace un pulido rotatorio de alta velocidad.

6. ESPECIFICACION DE LA A.D.A. PARA ALEACIONES DE CROMO-COBALTO

Aprobada en Abril de 1956. Efectiva desde el 1º de Julio de 1957.

La Asociación Dental Americana (A.D.A.) en su disposición N° 14, establece las especificaciones para las aleaciones de cromo-cobalto.

6.1. CLASIFICACION DE LA ALEACION

Hay dos tipos:

- Tipo I, de alta fusión; temperatura líquidas mayor 1300°C
- Tipo II, de baja fusión; temperatura máxima 1300 °C. Temperatura de fusión entre 1275 y 1290 °C.

6.2. REQUISITOS

6.2.1. Color: Según el gusto del comprador.

6.2.2. Composición: Debe contener un total no inferior a un 85% de la aleación en cromo, cobalto y níquel.

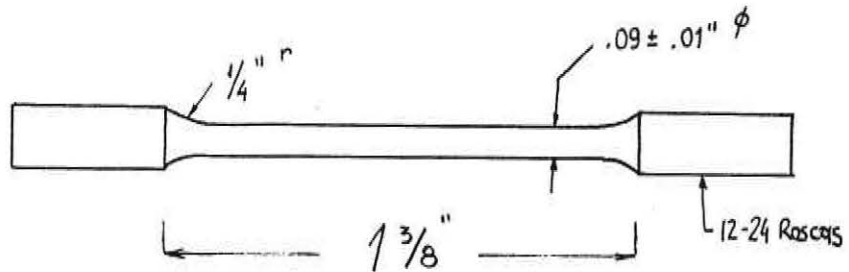
6.2.3. Propiedades físicas: Son requisitos la resistencia a la fluencia, resistencia traccional, alargamiento, dureza y temperatura de fusión con sus respectivos valores, los cuales se indicarán más adelante.

6.2.4. Instrucciones del fabricante: Debe especificar el modo de utilizar la aleación, además de proporcionar datos como temperatura de colado de la aleación, descripción del equipo y materiales auxiliares a utilizar.

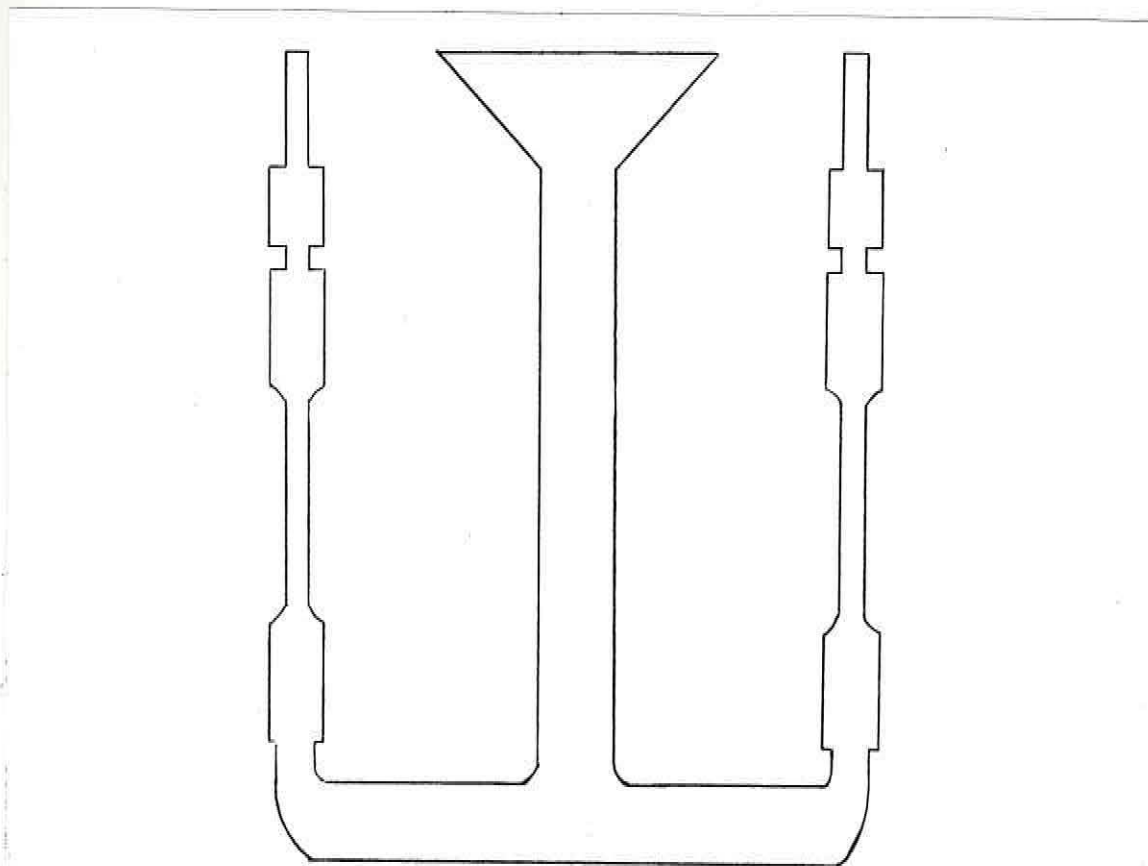
6.3. OBTENCION DE LAS MUESTRAS Y PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR LAS PRUEBAS

Las muestras de aleación requeridas, llamadas también cuerpos de prueba deben ser seis colados proporcionados por el fabricante y otra cantidad obtenida al azar en el mercado corriente.

Los cuerpos de prueba deben tener las dimensiones que muestra la figura a continuación:



Los patrones de cera deben alinearse simétricamente alrededor de un perno central, con entradas de alimentación, engrosamientos (cámaras de compensación) y respiraderos como muestra la figura siguiente:



6.4. PRUEBAS QUIMICAS

La composición de la aleación debe contener un mínimo de un 85% de cromo, cobalto y níquel.

Los procedimientos empleados pueden consultarse en "Y. Research NBS 53.353 (1954); ASTM Standards (1964); Part 32, Chemical Analysis of Metals; o Chemical Analysis of Iron and Steel, by Lundell, Hoffman and Bright".

Los valores obtenidos pueden tener una aproximación de un 0,5%.

6.5. PRUEBAS FISICAS

Las propiedades traccionales y la dureza se deben realizar en cuerpos de prueba colados sin que hayan recibido otro tratamiento térmico.

6.5.2

Estas pruebas serán aprobadas cuando los requisitos exigidos se cumplan para uno o más cuerpos de prueba de la serie de seis.

Los valores obtenidos en las pruebas de resistencia a la fluencia, resistencia traccional, alargamiento y dureza de cada serie de cuerpos de prueba, serán promediados, obteniéndose finalmente un solo resultado para cada una de las pruebas recién mencionadas.

6.5.1. Resistencia a la fluencia

Se determina mediante el empleo de un extensómetro estandard y a una medida longitudinal de 25,4 mm.

El cuerpo de prueba recibe inicialmente una carga calculada, que genere una tensión de 350 Kg/cm². Se mide la deformación obtenida. A continuación se aumenta la carga hasta producir una tensión de 4.200 Kg/cm², a un régimen de 30 ± 5 kg/min. y se mide nuevamente la deformación.

El valor de la deformación se realiza con una aproximación de 0,0001 cm/cm. Cuando uno de los valores cae entremedio de dos números, se elige el número par.

La resistencia a la fluencia para las aleaciones tipo I y II de cromo-cobalto es máximo 0,0025 cm/cm (deformación 350 y 4.200 kg/cm).

6.5.2. Resistencia traccional

A la carga utilizada durante la prueba anterior, se le aplica otra carga adicional hasta llegar a la ruptura del cuerpo de prueba.

El valor de la resistencia traccional debe tener una aproximación de 50 kg/cm². Cuando uno de estos datos quede en el medio de dos números, se considerará el número par.

La resistencia traccional para las aleaciones de cromo-cobalto tipo I y II es 6.300 kg/cm² mínimo.

6.5.3. Alargamiento

Se determina con los mismos cuerpos de prueba utilizados para los ensayos de resistencia a la fluencia y traccional. Se toma sobre una medida longitudinal de 25,4 mm.

La determinación del valor se realiza con una aproximación de 0,1% y nuevamente cuando uno de estos valores caiga en el medio de dos números, se anota el número par.

El alargamiento para las aleaciones de cromo-cobalto tipo I y II, es mínimo 1,5%, con medida longitudinal 25,4 mm.

6.5.4. Dureza

Para cada muestra de aleación se determina el número Rockwell 30N.

Se emplea el mismo cuerpo de prueba utilizado en la resistencia traccional y ha sido fracturado; a éste por desgaste húmedo se le deja en su posición cilíndrica una superficie plana, sobre la cual, se realizan cinco indentaciones, a una distancia de 1/8 de pulgada del extremo fracturado o del borde constreñido. De las cinco mediciones se eliminan las dos extremas (alta y baja), y con las restantes se saca un promedio.

El número de dureza registrado, debe tener una aproximación a número entero, y si el valor obtenido se encuentra en medio de otros dos números, se toma el número par.

La dureza para las aleaciones de cromo-cobalto tipo I y II en sistema Rockwell 30N es 50 como mínimo.

6.5.5. Temperatura de fusión

Será la temperatura líquidus determinada en la curva de enfriamiento. Esta debe especificarla y certificarla el fabricante.

7.2 REV La temperatura de fusión para las aleaciones de cromo y cobalto tipo I es 1300°C mínimo; y para el tipo II es 1300°C máximo.

6.6. PREPARACION PARA LA DISTRIBUCION

El fabricante debe mandar al mercado la aleación teniendo las siguientes consideraciones:

- * Envasado aceptable.
- * Adjuntar instrucciones para su uso.
- * Marcación que permita identificar número de serie o clave para que el fabricante tenga referencia del lote al cual pertenece.
- * Fecha de fabricación, año y mes.
- * Peso neto.
- * Indicar el tipo de aleación (I o II).

7. REVESTIMIENTOS

Los revestimientos o investimientos son materiales de laboratorios, utilizados para rodear al patrón de cera ya tallado, y obtener así un molde de él. Este material, fundamental para la obtención de un colado de gran exactitud, requiere de una máxima calidad para originar una buena reproducción de la forma, tamaño y detalles del patrón de cera.

También debe ser estable a las temperaturas de fusión, evitando descomposiciones que puedan afectar la resistencia y forma del futuro colado. Otra característica es el tener una resistencia que le permita soportar las tensiones originadas con la entrada del metal en el molde.

Por otro lado el investimento debe contar con una porosidad suficiente para la evacuación oportuna de gases y aire desde el interior del molde, cuando el metal entra.

El revestimiento se compone de dos elementos fundamentales: un material refractario y un aglutinante del mismo.

El material refractario es el que otorga la capacidad de resistir altas temperaturas sin que se

produzca descomposición del investimento y además ayuda a contrarrestar la contracción de fraguado sufrida por el metal una vez que se enfría; normalmente es el sílice, el cual se presenta en sus cuatro formas alotrópicas, químicamente iguales, pero con variaciones cristalinas; éstas son el cuarzo, la cristobalita, la trimidita y el cuarzo fundido, de las cuales las dos primeras son utilizadas en la elaboración de revestimientos odontológicos.

La expansión producida por el sílice ocurre por un mecanismo llamado inversión; este cambio cristalino se origina en el cuarzo, a los 575°C y consiste en el paso de una forma baja o cuarzo α a otra forma alta o cuarzo B. La cristobalita experimenta el cambio cristalino de la forma baja (cristobalita - α) a la forma alta (cristobalita - β) entre los 200 y 207°C. Esta inversión significa en concreto un estiramiento de los enlaces químicos, se crea así una estructura menos densa lo que en la práctica se traduce como rápida expansión de la estructura.

En los revestimientos odontológicos se usa el cuarzo, la cristobalita o una combinación de ambos; también se incorporan elementos como el cloruro de sodio y el ácido bórico para regular la expansión y el tiempo de fraguado.

El aglutinante es el encargado de unir las

partículas refractarias. En el caso de aleaciones de baja fusión se utiliza revestimiento con aglutinante hemihidrato α (yeso); para aleaciones de alta temperatura de fusión se usa como aglutinante sílice o fosfato.

7.1. REVESTIMIENTO CON AGLUTINANTE DE YESO

Se compone de: un material refractario, sílice en su forma de cuarzo y cristobalita; un aglutinante de yeso (sulfato cálcico hemihidratado o hemihidrato); componentes menores cobre o grafito en polvo y algunos modificadores como cloruro de sodio y ácido bórico, que evitan una contracción excesiva del yeso.

El sílice debe compensar la contracción de colado del metal una vez enfriado, además de la contracción sufrida por el hemihidrato entre los 200 y 400°C. A los 700°C se produce una pequeña expansión seguida por una gran contracción; entonces el revestimiento se descompone, elimina gases de azufre que además de causar una pérdida de volumen, contamina el colado, alterando sus propiedades. Para evitar estos efectos adversos, este tipo de revestimiento se usa para aleaciones que requieren temperaturas hasta 650°C, asegurando así la obtención de resultados exitosos. El sílice también aumenta la resistencia al revestimiento, puesto que si sólo hubiera yeso, al calentarse perdería agua y se fracturaría antes de alcanzar la temperatura de colado.

La compensación volumétrica se obtiene por medio de dos mecanismos, la expansión térmica y la expansión higroscópica; se dan simultáneamente con predominancia de una sobre otra, dependiendo del tipo de revestimiento.

* Expansión térmica

Esta depende fundamentalmente de la cantidad de sílice, la cual debe constituir un 60 a 70% para anular la contracción que ocasiona el yeso.

La expansión debe ser mayor a un 0,1% y menor a un 2% cuando se utilizan investimentos donde predomina la expansión térmica.

Los revestimientos que contienen cristobalita se expanden a temperaturas más bajas, en mayor proporción y en menor tiempo que aquellos que poseen cuarzo.

La magnitud de la expansión térmica está relacionada con la cantidad de sólido presente, por lo tanto la relación agua/polvo debe ser muy precisa, ya que una mayor cantidad de agua se va a traducir en una menor expansión térmica.

* Expansión higroscópica

Ocurre al dejar en contacto al revestimiento con agua durante el fraguado, y es una expansión producto de la atracción del agua, por capilaridad entre las partículas,

con lo cual éstas se separan. Este efecto se pierde cuando se evapora el agua a menos que exista un aglutinante que lo impida. En el fondo, la expansión higroscópica se basa en un crecimiento de los cristales. Se puede observar que mientras más finas son las partículas de sílice, mayor expansión se logra, como también a mayor cantidad de este relleno inerte, más fácilmente difunde el agua a través de las partículas y por lo tanto la expansión también es mayor.

La incorporación del agua al revestimiento para que tenga un buen efecto en la expansión, debe ser en las primeras etapas de fraguado, porque sino ya habrá comenzado parte de la cristalización; entonces los cristales se han entremezclado y no pueden seguir creciendo. Por lo tanto la expansión higroscópica es directamente dependiente de la cantidad de agua durante el fraguado hasta la expansión máxima.

También el espatulado influye en la expansión; esta es de menor magnitud cuando la mezcla se efectúa en un tiempo restringido.

Para la mantención de la expansión higroscópica del revestimiento, cuando fragua, se requiere de una cantidad de aglutinante no inferior a un 15%.

La expansión higroscópica también depende del tiempo de almacenamiento del investimento; a mayor tiempo menor magnitud de expansión.

Los revestimientos tipo II (según la ADA) que compensan la contracción de colado a base de la expansión higroscópica fundamentalmente deben tener valores para la expansión térmica desde un 0% a un 0,6%.

Si bien el sílice impide la contracción del revestimiento, el exceso puede debilitarlo; una pequeña cantidad de cloruro de sodio puede ayudar a aumentar la expansión, evitándose de este modo cantidades excesivas de sílice. El ácido bórico también endurece el revestimiento, pero puede dar una superficie rugosa al colado.

Aunque los revestimientos una vez enfriados, sufren una contracción térmica (cuarzo y cristobalita se invierten nuevamente), esta siempre es menor que la expansión originada previamente, por lo tanto se compensa la contracción del metal colado. El revestimiento que recibe un segundo calentamiento alcanza igual expansión que en el primero, pero puede sufrir grietas y fracturarse.

Los revestimientos en general, deben contar con una resistencia adecuada, para evitar desastillarse o desgranarse, durante el régimen de calentamiento, ante el impacto por la entrada del metal fundido en el molde. La resistencia del revestimiento se mide bajo tensiones compresivas; la resistencia aumenta en cuanto se incrementa la cantidad de aglutinante. Para colados

pequeños se exige un valor mínimo de resistencia compresiva de 2,5 MPa, pero para grandes colados debe ser mucho mayor. La mayor cantidad de agua en la mezcla del revestimiento así como la incorporación de cloruro de sodio disminuyen esta resistencia.

Dentro de los investimentos, se prefieren los de grano fino, porque dan una mayor expansión higroscópica y además producen menos problemas de rugosidades e irregularidades que los compuestos por grano grueso.

La porosidad de un revestimiento es de gran importancia para producir una adecuada evacuación del aire y gases cuando el metal fundido entra en el molde; de lo contrario se obtiene un colado defectuoso, ya sea por contener burbujas en su estructura interna o en su superficie, o por estar incompleto en su forma, a causa de la retropresión que produce, que impide que el metal llene totalmente la cámara.

Mientras más uniforme sean las partículas del investimento, mejor será su porosidad.

Un mayor contenido de agua también favorece la porosidad; a la inversa, la mayor cantidad de cristales, la disminuye. Por lo tanto revestimientos muy densos, como por ejemplo los aglutinados con sílice, son poco porosos y requieren suplir esta deficiencia con respiraderos extra en el molde.

El uso de revestimientos a base de yeso para aleaciones cromo-cobalto de baja fusión es riesgoso; al contactar el investimento con la aleación se descompone produciendo dióxido de sulfuro, el cual fragiliza al metal. Incorporar oxalato al revestimiento minimiza este efecto, pues se transforma en dióxido de carbono, el cual protege al metal fundido de la acción del dióxido de azufre.

7.2. REVESTIMIENTO CON AGLUTINANTE DE FOSFORO

La composición es un material refractario, un 80% de sílice (en su forma de cristobalita, cuarzo o una mezcla de ambos) y un aglutinante que consiste en óxido de magnesio y fosfato monoácido. Estos elementos se mezclan con agua o sílice coloidal y se obtiene el fosfato amónico magnésico que aglutina la sílice y crea una reacción de hidratación, seguida de una cristalización que implica un grado de expansión por el empuje de los cristales hacia afuera.

La utilización de una solución de sílice coloidal, en lugar de agua para la mezcla, origina una mayor expansión de fraguado, al mismo tiempo que fortalece el material.

El investimento sufre una contracción térmica durante su fase de enfriamiento, por la descomposición del aglutinante (fosfato de amoníaco y magnesio), con

liberación de amoníaco, pero en parte está contrarrestada por el relleno refractario, especialmente cuando se trata de cristobalita.

Los revestimientos a base de fosfato aceleran notablemente su fraguado, en cuanto más caliente esté la mezcla y en cuanto más largo sea el tiempo de mezclado. Se obtendrán mejores resultados de colado, en lo referente a textura y exactitud, mientras más se prolongue el tiempo de mezclado y su eficiencia. Ambas cosas se consiguen fácilmente con un mezclador mecánico, al vacío.

La expansión lograda por un revestimiento a base de fosfato, puede alcanzar un 2% al utilizar líquido de sílice especial.

7.3. REVESTIMIENTO CON AGLUTINANTE DE SILICE

Se compone de cristobalita o cuarzo polvo aglutinados con un gel de sílice que al calentarse se transforma en sílice, originando una masa muy compacta de partículas de sílice.

El gel de sílice puede conseguirse por diferentes métodos: uno de ellos es el que se obtiene a partir del silicato de etilo más ácido clorhídrico y alcohol industrial, con lo cual se hidroliza el silicato de etilo y se forma un sol coloidal de ácido polisilícico

con pérdida de alcohol etílico. Al sol se le agrega cuarzo o cristobalita y óxido de magnesio que alcaliniza el pH y finalmente se produce el gel de ácido polisilícico con una contracción de fraguado.

El gel se seca a 168°C, pierde agua y alcohol y por lo tanto se concentra; esto origina una nueva disminución volumétrica llamada contracción en crudo. Ambas contracciones son superadas ampliamente por la expansión posterior causada por la inversión del sílice (semejante a la ocurrida en el yeso).

Otro camino para obtener un gel, es agregando a una suspensión de sílice coloidal, un acelerador como el cloruro de amoníaco.

Una tercera alternativa se consigue a partir del silicato de sodio, al cual se le disminuye el pH con ácido o sal ácida (como por ejemplo el fosfato monoácido) con lo que se obtiene el gel del ácido salícico, fortalecido por la incorporación de óxido de magnesio.

De cualquier modo, en el aglutinante y material refractario está presente el sílice, que tolera muy bien altas temperaturas de fusión (como las dadas en aleaciones de cromo-cobalto) sin descomponerse y compensando en forma satisfactoria la contracción de colado.

Para una buena resistencia a la temperatura de colado, se debe incorporar la mayor cantidad de polvo posible a la solución aglutinante.



MATERIALES Y METODOS

MATERIALES Y METODOS

INTRODUCCION

En este capítulo se describe la metodología usada para la realización del proyecto de investigación.

Se destaca además los instrumentos y los materiales usados.

METODOLOGIA COMO ORDENAMIENTO GENERAL

A continuación se describirá a modo de resumen secuencial los pasos necesarios para desarrollar la parte práctica de la investigación.

1. Información general y recolección de datos obtenidos mediante encuesta a laboratoristas de la V Región y Area Metropolitana.
2. Determinación de aleaciones de Cr-Co de mayor prestigio (calidad), técnicas de laboratorio para la obtención del colado e información anexa recogidas de la encuesta.
3. Verificación de técnicas y compatibilidad con las especificaciones de la A.D.A. en función de recursos técnicos y económicos.
4. Adquisición de las aleaciones.
5. Elección de laboratorios (dentales y no dentales) para confeccionar cuerpos de prueba y someterlos a exámenes.

6. Elección de métodos de análisis que den la mayor cantidad de información en relación a la aleación de Wb Cr-Co.
7. Confección de los patrones de cera.
8. Investido.
9. Descerado.
10. Fundido.
11. Obtención de los cuerpos de pruebas.
12. Análisis del cuerpo de prueba.

1. DESARROLLO DE LA ENCUESTA

Objetivo

Poder recoger información y determinar cuál o cuáles son las aleaciones de mejor calidad que llegan a nuestro país y los métodos de trabajarlas.

En principio se trataría de recoger información sólo en laboratorios de la V Región, específicamente en los ubicados en Valparaíso y Viña del Mar.

Inicialmente la encuesta se realizó en forma verbal, a modo de conversación, de manera informal, pero los resultados así obtenidos no era del todo los esperados y no cumplían con el carácter de objetividad que se pretendía. En general no se entregaba la información completa y muchos se excusaban de la falta de tiempo. Otra cosa que pudimos comprobar, fue que el laboratorista sentía algún recelo para responder preguntas a personas que no conocía. Se tendía en general a hablar más del trabajo realizado en otros laboratorios, que del que se realiza en el propio. Se pesquizó que la entrevista era demasiado informal. También quedó claro, que en las preguntas no se debía incluir el nombre del laboratorista ni del laboratorio. Como un modo de "conservar la privacidad". Lo interesante era determinar lo usado y cómo se usa y no quién lo usa. Así planteadas las cosas, las respuestas serían más objetivas.

Para este efecto se confeccionó una encuesta (formulario) de siete preguntas con la ayuda del profesor guía. (Ver Anexo Encuesta). Además se solicitó, para realizar la visita formal, una carta de presentación (ver Anexo) que diera a conocer al jefe del laboratorio, la razón de la encuesta; quiénes eran los internos que la solicitaban y para qué institución.

Este formulario - encuesta se distribuyó en ocho laboratorios de la V Región. Así el laboratorista dispondría de un tiempo prudencial de una a dos semanas, para devolver la encuesta totalmente respondida.

En el momento de recolectar las respuestas se debía revisar su contenido y aclarar aquellos puntos que nos merecían dudas.

En Valparaíso y en Viña del Mar, encontramos buena acogida, pero en general, después del tiempo necesario para entregar el formulario respondido, tres no lo devolvieron jamás y dos no respondieron las preguntas completamente.

Las razones esgrimidas eran de índole variada. Por ejemplo que no se tenía una estadística aproximada, o que la confección de prótesis era variable en número, o que el metal empleado era de Cr-Co, pero con mezclas de marcas.

Nos quedamos con tres laboratorios solamente. Consideramos que esa no era una muestra representativa, aunque había coincidencia en marcas y procedimientos de obtención del colado.

Esta razón nos impulsó a extender la encuesta al Area Metropolitana, siguiendo la misma metódica propuesta, y consultando a doce laboratoristas, seleccionados según indicaciones obtenidas en la V Región.

La respuesta fue similar a la obtenida en Valparaíso y Viña del Mar. Tres no devolvieron jamás el formulario y cinco no contestaron en su totalidad lo que se les preguntaba. En dos casos, uno no devuelto y otro parcialmente respondido, la razón aducida fué que los procesos de laboratorio eran secretos, que no se trataba de mala voluntad, pero lo logrado era fruto de años de investigación (?).

Al final, el universo consultado, correspondía a veinte laboratorios distribuidos de la siguiente forma, considerando también la calidad de las respuestas.

	Respondieron todo	Respondieron parcialmente todo	No Respondieron	Total
V Región	3	2	3	8
Area Metropolitana	4	5	3	12
Total	7	7	6	20

2. DETERMINACION DE ALEACIONES DE CROMO-COBALTO DE MAYOR PRESTIGIO; TECNICA DE LABORATORIO PARA LA OBTENCION DEL COLADO E INFORMACION ANEXA. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA

Con el total de siete laboratorios que contestaron toda la encuesta, más siete que respondieron parcialmente, se pudo obtener información más o menos fiel para los intereses de este estudio.

Para efectuar estadísticas porcentuales, se tomará el universo de catorce laboratorios, ya que catorce dieron respuesta a las preguntas que dicen relación con las aleaciones de mejor calidad y metales de colado. En todo caso el análisis total de la encuesta está tabulado y registrado de la manera más fiel posible en la sección de anexos.

Por ahora, en este capítulo, nos quedaremos con las respuestas en relación con la mejor aleación, el tipo de revestimiento que realmente se utiliza, el tipo de fusión y colado que se emplea.

2.1. MEJORES ALEACIONES

Luego de analizar los datos obtenidos, se llegó a la conclusión que quince eran las aleaciones de mejor calidad. Se consideró un ordenamiento porcentual, basado

en el número de veces que se había nombrado a dicha aleación como dentro de las mejores.

También se consideró en este análisis de las aleaciones, a las que tienen mayor uso.

A continuación se presenta una tabla que entrega la información recién mencionada.

<u>NOMBRE ALEACION</u>	<u>% QUE LAS NOMBRO</u>	<u>LA MAS USADA %</u>	<u>PROCEDENCIA</u>
Remanium GM-380	100	100	RFA
Dentorium	100	100	USA
Jelenko	100	85.71	RFA
Wironit duro	100	85.71	RFA
Remanium G-FH	85.71	71.42	RFA
Krupp	85.71	71.42	RFA
Wirocast	85.71	71.42	RFA
Biosil	78.57	21.42	RFA
Wironit blando	64.28	21.42	RFA
Wironium	42.85	7.14	USA
Vitalium	42.85	0	RFA
Remanium Gu	35.71	0	RFA
Cromo dur	7.14	0	RFA
Niramium	7.14	0	USA
Dentillium	7.14	0	USA

2.2. TIPO DE INVERSIÓN QUE SE UTILIZA

WIND-

En este punto específicamente, la información obtenida fue bastante restringida. Evidentemente, en el proceso de laboratorio (para producir colados metálicos) existen algunas técnicas que se podrían llamar "exclusivas" y que en proporción al tamaño de laboratorio, se guardan con gran celo. Sin embargo resulta curioso comprobar, que a pesar del celo con que se resguardan ciertos "secretos", estos en cuestión, son patrimonio de la gran mayoría de los laboratoristas y no se afirma que del 100% de ellos, sencillamente porque no todos respondieron la encuesta en ese punto.

En cuanto al análisis numérico, de los catorce laboratorios que respondieron total o parcialmente la encuesta, sólo seis (42,85%) entregaron información acerca del tipo de revestimiento utilizado. El resto se disculpó diciendo que se trataba de un secreto profesional, o que lo compraba preparado y que desconocía su composición.

De éstos seis laboratoristas (dos de la V Región y cuatro del Area Metropolitana), todos dijeron fabricar el investimento, empleando sílice como material refractario, ya sea en forma de cuarzo o de cristobalita y como material aglutinante solamente sílice o fosfato (nunca yeso, ya que se está hablando de aleaciones de alta fusión).

En resumen, hablan de una base más un ácido reactor o Winder (M.R.)

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

TIPO DE INVERTIMIENTO USADO

aglutinante		material refractario		
yeso	silice	fosfato	cuarzo	crystalita
0%	83,3%	16,6%	33,3%	66,6%

De los seis laboratorios que entregaron información, todos determinaron que dependiendo de la exactitud del trabajo que solicitaba el odontólogo, también se utilizaban marcas comerciales ya preparadas; por ejemplo, para realizar trabajos de prótesis fija o una combinación de prótesis fija y prótesis removible.

Las marcas de investimentos más nombrados fueron: de la fábrica Bego: Wirovest con líquido especial. Wirovest con agua.

De la fábrica Dentaaurum: Rema Exakt.

Rema Star.

Fue imposible conseguir información de estos materiales, en cuanto a composición; sólo se dispone de

información en relación a su uso, como por ejemplo, el Rema Exakt y el Rema Star requieren cuatro a cinco minutos como tiempo de trabajo, treinta minutos de tiempo de fraguado y una temperatura de precalentamiento de 1050°C. Del Wirovest, se supo que el tiempo de trabajo es también cuatro a cinco minutos a temperatura ambiente, con el líquido a 20°C; que su dureza a la presión de una bolita (cuando aún no está endurecido), es de 180 N/mm .

2.3. MODO DE FUNDIR EL METAL PARA OBTENER UN COLADO

De la misma encuesta, aunque esta vez con mejores resultados, se pudo reunir información de los procesos empleados en la etapa de fundición y obtención del colado.

Básicamente hay dos métodos que se utilizan:

- a) fundido con llama de oxígeno y acetileno;
- b) fundido con horno de inducción (eléctrico).

De los ahora catorce laboratorios que conforman nuestro universo encuestal, todos dieron información sobre el tipo de fundición que utilizan.

En todos los casos, posterior al investido, viene el descerado, proceso que se realiza por lo general en horno eléctrico, a temperaturas en un rango máximo de 850 a 1200°C. El sistema de calentamiento se hace en regímenes de tiempo que van desde media hasta una y media horas.

Otro aspecto interesante, es que todos los laboratoristas en la etapa de fundición ocupan, en el mejor de los casos, 50% de aleación antigua (anteriormente fundida) y 50% de aleación nueva; es lo que permite el fabricante. Sin embargo, reconocen que no siempre esa relación se cumple, aunque no admiten que esto ocurra en su laboratorio; señalan que "otros" laboratoristas ocupan relaciones de 75% de aleación antigua con 25% de aleación nueva e incluso hay casos, nada despreciables (en cuanto a cantidad de laboratoristas), en que sólo se ocupa aleación antigua y a veces refundida en dos o tres ocasiones previamente, para confeccionar el colado. Lamentablemente, no se puede tomar este dato como 100% confiable, porque no se conoce la fuente de origen; a pesar de esto, ha sido consignado por lo frecuente que resultó el comentario entre los laboratoristas.

El resultado de la encuesta, ordenado en una tabla da los siguientes valores:

SISTEMA DE FUNDIDO	% DE LABORAT. QUE LO POSEE
Soplete de oxígeno-acetileno	100%
Electrónico por inducción	42,85%
Crisol eléctrico	14,28%
Soplete hidrógeno-acetileno	7,14%

Nota: El resultado de la tabla no suma 100% ya que seis laboratoristas tenían más de un sistema de fundición. Lo que realmente se mide en la tabla anterior, es el sistema con el que cuenta el laboratorio, para fundir metales.

Para resolver el problema se tabuló la pregunta:
"¿Cuál es el método que Ud. emplea para fundir la aleación de Cr-Co?"

SISTEMA DE FUNDIDO	% DE LABORAT. QUE LO USA
Soplete de oxígeno-acetileno	57,15%
Electrónico por inducción	42,85%

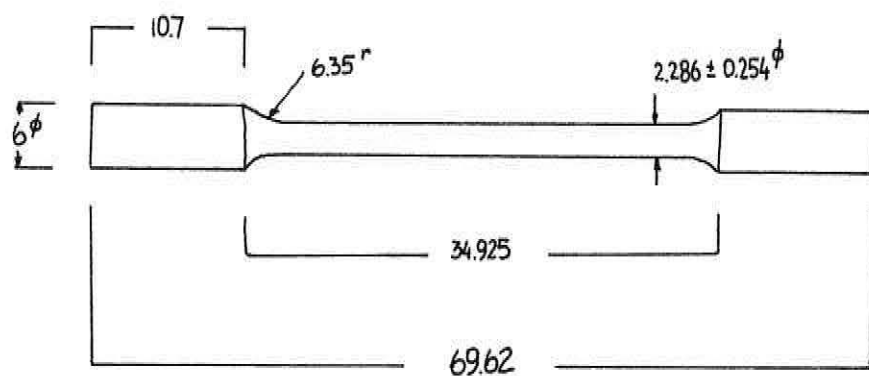
El proceso de colado, se realiza mediante centrifugado. Existen básicamente dos sistemas de centrifugado para aleaciones de Cr-Co; la centrífuga mecánica accionada por resorte y la centrífuga accionada por un motor eléctrico, que a su vez funde el metal por inducción. Ambos procesos serán descritos en el acápite que corresponde a la fundición de cuerpos de prueba. Sin embargo, para una mejor visualización se destaca esta información en la tabla a continuación:

CENTRIFUGADO	% DE LABORAT. QUE LO USA
Mecánico - Resorte	57,15%
Eléctrico - Inducción	42,85%

3. VERIFICACION DE TECNICAS Y COMPATIBILIDAD CON LAS ESPECIFICACIONES DE LA ADA, EN FUNCION DE RECURSOS TECNICOS Y ECONOMICOS.

Para poder realizar las pruebas, es indispensable valorar e informarse respecto a las normas que preconiza la ADA para la confección de los cuerpos de prueba.

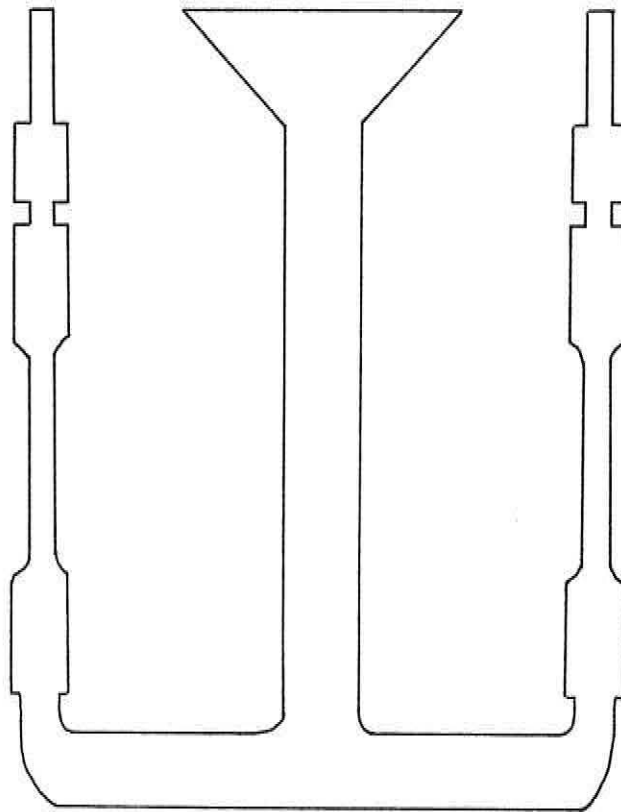
La obtención del cuerpo de prueba, implica una serie de maniobras previas; entre ellas está la realización de un tallado en cera, que cumpla con las medidas apropiadas. La ADA exige que las pruebas se efectúen sobre especímenes, en su condición de colados, sin ningún tratamiento térmico subsecuente. La forma y dimensiones de los especímenes se detallan en la figura que sigue:



todo en mm.

Estos especímenes deberán ser colocados de acuerdo a las directivas del fabricante, excepto donde interfieran con las especificaciones de la ADA, en cuyo caso, se seguirán estas últimas.

Dos, tres o cuatro patrones de cera deberán ser alineados simétricamente, alrededor de un perno central, provisto con entradas de alimentación, engrosamientos que actúen como cámaras de compensación y respiraderos de modo similar a como se ilustra en la figura.



Al considerar el volumen de metal empleado (calculando sección transversal x longitud) y conociendo el promedio de densidad de la aleación, se puede calcular

aproximadamente, la masa de metal necesaria para confeccionar el o los cuerpos de prueba.

Densidad: masa/volumen; por lo tanto

masa: densidad x volumen.

Conociendo una densidad promedio de 8,3 gr/cc; calculando el volumen para dos cuerpos de prueba por aleación en 6 cc; la masa de aleación aproximada es de 49,8 gr., es decir 50 gr.

Por lo tanto, para confeccionar dos cuerpos de prueba, se necesita tener 50 grs. de aleación aproximadamente. Cotizando precios, como promedio se obtienen valores de 90 a 100 pesos el gramo de aleación. Ya que el número de aleaciones de mayor calidad, arrojado por la encuesta, fue de 15, se necesitarían 750 grs. y por lo tanto \$ 75.000.- para cubrir sólo el costo del metal, para realizar todas las pruebas.

La confección del patrón de cera, se puede realizar utilizando cera calibrada de diversos diámetros y por desgaste conseguir las dimensiones finales del cuerpo de prueba.

Para realizar el investido, después de consultar en forma específica, a algunos laboratoristas que se interesaron en ayudarnos, se determinó que por las dimensiones del colado, se requerían entre 500 a 800 grs. de revestimiento.

Puede que por la longitud de todo el cuerpo de prueba (aproximadamente 9 cms.) haya problemas en el centrifugado. En todo caso, hasta este punto en lo técnico, no habría inconvenientes, sin embargo, en lo económico no sería factible su realización.

En lo referente a la fundición, el único problema que podía surgir era el de conseguir una zona útil del cuerpo de prueba, que estuviera libre de poros. Era difícil conseguir una zona que reuniera este requisito en una longitud de 34 mm. y con un diámetro de 2 mm. En todo caso si eso ocurría no se podían realizar las pruebas traccionales. A estas alturas, la investigación se centró en ubicar laboratorios que pudieran confeccionar los cuerpos de prueba e instituciones donde realizar los ensayos mecánicos estructurales y químicos.

Las opciones, en honor a la verdad, se fueron restringiendo, ya que con el exiguo presupuesto era imposible siquiera solventar los gastos de aleaciones. Concientes del problema, que se fue agravando conforme pasaba el tiempo, se logró de terminar, que desde el punto de vista técnico e infraestructural, en la V Región existían laboratorios e instituciones (Universidades) implementados para realizar los ensayos a los cuerpos de prueba. En concreto, cualquier laboratorio de los que entregaron las respuestas de la encuesta, estaba capacitado para la confección de los colados; también era factible contar con la ayuda de las personas que trabajan

en el Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María para hacer las pruebas mecánicas. La Universidad cuenta con la infraestructura necesaria.

En lo referente al análisis químico, para conocer la composición del metal, fue imposible encontrar una institución que pudiera facilitar en forma gratuita o a bajo costo sus instalaciones. En general todos los análisis químicos se realizan por encargo de empresas o como proyecto de investigación con fines rentables; de hecho, los reactivos que se necesitan son de alto costo. En conversaciones con ingenieros químicos (Valparaíso, VI Región) se estimó, que si bien existen medios técnicos, la investigación de la composición de la aleación de Cr-Co, se podría realizar a un costo aproximado de \$ 800.000.-, naturalmente prohibitivo.

Sin embargo, y para no dejar incompleto el trabajo, se buscó una alternativa, que por lo menos en parte, supliera el vacío que la ausencia del análisis químico dejara.

Producto de las conversaciones con el Dr. Jaime Chiang (ex Rector de la U.T.F.S.M., ingeniero químico y actual Decano de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Valparaíso), se llegó a la conclusión de que se podía realizar un análisis nominal de la aleación; esto es, hacer las averiguaciones de la composición química del metal, según lo preconiza el fabricante, aunque no siempre se indica.

Se nos informó además, de que era factible investigar por procesos químicos complejos, la existencia de los elementos componentes de la aleación, pero no determinar el porcentaje en peso de los mismos; sin embargo existía una posibilidad, cual era la de hacer un análisis metalográfico o granular de la aleación. Para tal efecto, en la Universidad Federico Santa María sí se contaba con los instrumentos necesarios; por lo tanto, se optó por esta modalidad, previa consulta a la encargada del microscopio del Departamento de Análisis de Materiales, de dicha casa de estudios.

Nota: El reemplazo del análisis químico por el análisis nominal de las aleaciones, fue oportunamente conversado y aceptado por el profesor guía Dr. Jorge Rotter, con fecha lunes 29 de Mayo de 1989.

En este mismo período, el Dr. Rotter, confirmó que el laboratorio de don Juan Hinojosa, estaba a disposición para confeccionar los cuerpos de prueba. De este modo era factible obtener los colados y realizar los ensayos (todo esto en la V Región).

4. ADQUISICION DE LA ALEACION Y ANALISIS NOMINAL

En el desarrollo del seminario, tal vez uno de los puntos más conflictivos y de difícil solución, fue el problema de adquirir la aleación. La razón fundamental fue que las importadoras que proveen a los laboratoristas, venden la aleación desde un mínimo de 500 grs. por metal, y esos es en el mejor de los casos, ya que el empaque de aleaciones de buena calidad viene con 1.000 grs. normalmente.

La posibilidad única en este caso fue tratar de conseguir el metal directamente en los laboratorios dentales. No fue fácil, ya que la mayoría de los laboratoristas importan la cantidad que utilizan para un período limitado (de 3 a 12 meses). Ninguno cuenta con un stock de reposición y esto referido a aleaciones de buena calidad. No hay que olvidar el hecho de que existen aleaciones de baja calidad y que se ocupan en la confección de bases metálicas. Tal vez esa fue una razón poderosa para que el laboratorista no "pudiera" facilitar el metal que ocupa realmente.

Luego del análisis de la encuesta, se desecharon aquellos metales que fueron nombrados como los más usados, en menos de un 20% de los casos. De esta manera la cantidad de aleaciones que se probarían se redujeron a nueve de las quince nombradas. A saber, nos quedaríamos, siempre que fuera posible conseguir las con:

Remanium GM-380.
Dentorium.
Jelenko
Wironit Duro.
Remanium G-FH.
Krupp.
Wirocast.
Biosil.
Wironit Blands.



El trabajo, pues consistía en conseguir estas nueve aleaciones.

Finalmente y luego de muchas conversaciones, tras el aporte económico de la Facultad de Odontología de la Universidad de Valparaíso (que ascendió a \$ 17.000.-), pudimos comprar en un laboratorio de Viña del Mar, 200 grs. de aleación, distribuidos de la siguiente forma:

- 50 grs. de la aleación Dentorium.
- 50 grs. de la aleación Wironit Duro.
- 50 grs. de la aleación Wironit Blando.
- 50 grs. de la aleación Krupp.

Paralelo a esto, (aunque en Santiago), se logró conseguir 50 grs. de la aleación Biosil.

La adquisición del metal se realizó en tres etapas, según fue posible conseguirlo y según se hacía imperiosa su utilización. En la primera etapa (esto referido a

tiempo), se logró obtener 250 grs. de aleación, tanto en la V Región como en el Area Metropolitana. En una segunda etapa, se consiguieron 50 grs. de metal en Santiago, concretamente, la aleación Remanium G-FH y en la tercera etapa, se logró reunir 150 grs. de aleación, también en Santiago, que correspondió a 50 grs. de la marca Remanium GM 380, 50 grs. de la aleación Jelenko y 50 grs. de la aleación Wirocast.

Dado lo complejo que resultaba reunir el metal, inicialmente, se pensó realizar todas las pruebas con los primeros 250 grs. de metal; pero debido a múltiples factores de índole técnica, que llevaron a fracasos en la obtención de los cuerpos de prueba, fue necesario conseguir nuevas aleaciones. Estos problemas y las razones que los originaron serán oportunamente señalados, en la parte del trabajo que dice relación con la confección de los cuerpos de prueba.



FOTO 1

Todas las aleaciones vienen empacadas y protegidas con un aislamiento de espuma de goma. La presentación, como puede observarse en la fotografía N° 1, es

básicamente de una pirámide cuadrangular trunca, con pequeñas variaciones, que hacen algunas formas más regulares que a otras.

A continuación se estudiará cada aleación, dando a conocer el análisis químico nominal y el peso de cada cubo de metal.

En la sección anexos de este seminario de tesis, se dará mayor información técnica de cada aleación, aunque no todos los fabricantes la indican.

* 1. Remanium GM 380:

Procedencia: esta aleación es fabricada por la casa Dentaurum, de la República Federal Alemana.

Análisis nominal:	Co	-	64,5%
	Cr	-	29,0%
	Mo	-	4,5%
	C	-	0,6%
	Si	-	0,5%
	Mg	-	0,3%

Fe, Mn, Al, La, Ce - inferior al 1%.

Peso de cada cubo: aproximadamente 6 grs.

* 2. Dentorium:

Procedencia: esta aleación es fabricada por la casa Dentorium, de Estados Unidos. Se presenta en lingotes (cubos) o en limaduras. Para este trabajo se utilizaron cubos:

Análisis nominal:	Co	-	62,5%
	Cr	-	30,0%
	Mo	-	5,0%
	Fe	-	1,0%
	C	-	0,5%
	Mn	-	0,5%
	Si	-	0,5%

Peso de cada cubo: aproximadamente 6,2 grs.

* 3. Jelenko:

Procedencia: esta aleación es fabricada por la casa Jelenko de Alemania Federal.

Análisis nominal:	Co	-	64,7%
	Cr	-	27,5%
	Mo	-	5,0%
	Fe	-	1,0%

Otros elementos Mn, Si.

Peso de cada cubo: aproximadamente 6,0 grs.

* 4. Wironit Duro:

Procedencia: esta aleación es fabricada por la casa Bego de Alemania Federal.

Análisis nominal:	Co	-	63,0%
	Cr	-	30,0%
	Mo	-	5,0%

Otros elementos Si, Mn, C.

Peso de cada cubo: aproximadamente 6,4 grs.

* 5. Remanium G-FH:

Procedencia: esta aleación es fabricada por la casa Dentaureum de la República Federal Alemana.

Análisis nominal:	Co	-	64,5%
	Cr	-	29,0%
	Mo	-	4,5%
	Si	-	0,5%
	C	-	0,45%
	Mg	-	0,3%

Fe, Mn, Al, La, Ce - inferior al 1%

Peso de cada cubo: aproximadamente 6,0 grs.

* 6. Krupp:

Procedencia: esta aleación es fabricada por la casa Krupp de la República Federal Alemana.

Análisis nominal:	Co	-	63,8%
	Cr	-	30,0%
	Mo	-	5,0%
	Fe	-	1,0%
	C	-	0,45%

Otros elementos Mn, Si

Peso de cada cubo: aproximadamente 5,8 grs.

* 7. Wirocast:

Procedencia: esta aleación es fabricada por la casa Bego de la República Federal Alemana.

Análisis nominal:	Co	-	33,0%
	Cr	-	30,0%
	Fe	-	29,0%
	Mo	-	5,0%
Otros elementos Si, Mn, C	-	máximo	0,35%
Peso de cada cubo: aproximadamente 6,0 grs.			

* 8. Biosil:

Procedencia: esta aleación es fabricada por la casa Degussa de la República Federal Alemana.

Análisis nominal:	Co	-	63,0%
	Cr	-	30,0%
	Mo	-	5,0%

Otros elementos Si, Fe, C, Mn.

Peso de cada cubo: aproximadamente 6,0 grs.

* 9. Wironit Blando:

Procedencia: esta aleación es fabricada por la casa Bego de la República Federal Alemana.

Análisis nominal:	Co	-	64,0%
	Cr	-	28,0%
	Mo	-	5,0%

Otros elementos Si, Mn, C.

Peso de cada cubo: aproximadamente 6,1 grs.

El peso de cada cubo, en todos los casos, se calculó de un promedio de cinco unidades, tomadas al azar de la misma aleación.

Se puede observar que todas las aleaciones recién mencionadas, siguen una tendencia, en cuanto a su composición. La única excepción, la constituye la aleación Wirocast, que tiene un bajo contenido de cobalto (33%) y un alto contenido de fiero (29%). De acuerdo a las especificaciones de la A.D.A., este metal no cumpliría con los requerimientos mínimos exigidos para las aleaciones de cromo-cobalto (85% de cobalto y cromo).

También es importante aclarar, que en las indicaciones respecto a la composición, que entrega el fabricante, no se detalla la totalidad de los elementos que conforman la aleación; aunque si vienen especificados los metales básicos, como el Cr, Co y Mo. Esto se debe a que cada aleación cuenta con sus componentes "secretos", que la hacen única.

Las aleaciones de cromo-cobalto se obtienen por fundición de sus distintos elementos. Luego se modelan y una vez frías, se sacan de los moldes, se rectifican con barras de tracción, luego se limpian con chorros de arena y se pulen mecánicamente.

Según lo preconizado por los fabricantes, en el proceso de obtención de la aleación se emplean las más puras materias primas, con instalaciones de fusión modernas y supervisadas por expertos metalúrgicos.

Además, las aleaciones son rigurosamente analizadas: composición, aspecto de pulimentado, medición de dureza, ruptura traccional y pruebas de laboratorio. Así cada partida de la aleación es probada tomando muestras al azar, del lote que se ha fabricado.

5 y 6. ELECCION DE LABORATORIOS (DENTALES - NO DENTALES)
Y METODOS DE ANALISIS, QUE DEN LA MAYOR CANTIDAD
DE INFORMACION EN RELACION A LA ALEACION.

De acuerdo a lo que estipula la ADA en relación a las aleaciones de Cr-Co y después de evaluar la complejidad posible, para la confección de los cuerpos de prueba y la realización de ensayos, se comenzó la búsqueda de las instituciones, donde poder realizarlas.

En la parte dental, se contó con la ayuda de don Juan Hinojosa, quien estimó que en su laboratorio era factible conseguir el colado de acuerdo a las especificaciones de la A.D.A.

También ofreció su ayuda don Carlos Cofré, sin embargo no se tomó su laboratorio dental, ya que el sistema de fundición (inducción) no es de uso mayoritario. Por la misma razón no se tomó en principio el ofrecimiento de don Pedro Lobos y además, porque su laboratorio está en Santiago.

En cuanto a los ensayos sobre el cuerpo de prueba, contamos con los laboratorios de la Universidad Federico Santa María. El asunto era determinar las pruebas más efectivas para realizar el colado.

Se pueden realizar varios ensayos en general, a cualquier metal y a las aleaciones Cr-Co en particular,

tales como pruebas traccionales de torsión, impacto, dureza, cizalla, microdureza, compresión y pandeo; pero determinó luego de sostener conversaciones con ingenieros de la U.T.F.S.M), que era innecesario realizarlas todas, para obtener información satisfactoria.

Las pruebas que entregan mayor cantidad de datos sobre un material, son el ensayo traccional, la dureza y análisis microestructural. Específicamente en los casos de compresión, pandeo, torsión y cizalla, siempre la información que se obtiene, es anexa a las anteriormente nombradas. En general, se realizan para casos específicos; por ejemplo, para conocer la resistencia torcional de un eje motriz de alguna máquina (cardán de un automóvil) se somete a la prueba de torsión, pero con el resultado obtenido, sólo se conoce una propiedad del material.

Resumiendo: en lo referente al proceso de obtención del colado, no se encontró mayores problemas (el único podía ser el presupuestario), de hecho había disponible tres laboratorios.

En lo que concierne a los ensayos, también se consiguió la institución en donde realizarlas.

Las pruebas quedaron resumidas a: tracción, dureza y microestructura.

7. OBTENCION Y CONFECCION DEL PATRON DE CERA

Para realizar el patrón de cera, siguiendo las normas de la A.D.A., se utilizan ceras calibradas de diversos diámetros y calidades.

Con un cilindro de cera celeste, dura y de un diámetro de 3 mm., se obtuvo el diámetro útil del patrón, aproximadamente. El valor final se tendría por desgaste, con espátula de cera, hasta lograr la dimensión de 2,5 mm (que está dentro de la tolerancia admisible).

Una vez logrado el diámetro, se corta la cera a una longitud de 35 mm. La zona que corresponde al engrosamiento del patrón y que según la A.D.A. debe llevar hilos, esta vez, se realizó con cera amarilla calibrada a 6 mm. de diámetro y sin las roscas, porque la máquina en la que se efectuarán las pruebas traccionales, posee mordazas lisas. En todo caso esta modificación, en nada altera las características del cuerpo de prueba.

Se unieron ambos trozos de cera, fundiendo cera azul para lograr el radio de unión. Este último es de gran importancia y debe estar presente para evitar, durante el ensayo traccional sobre el colado, un cúmulo de fuerzas en esa zona e impedir la ruptura prematura del cuerpo en ese lugar.

Los patrones de cera así confeccionados se ilustran en la foto N° 2.

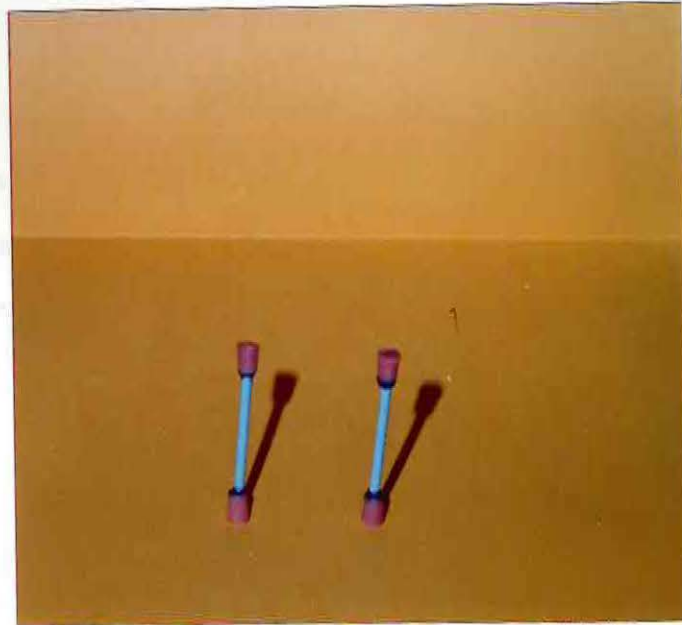


FOTO 2

Luego de tener los patrones de cera hechos en cera rosada, de 6 mm de diámetro, se realiza la zona que corresponde al botón sobrante, perno de alimentación central y vástagos de alimentación lateral, para dos patrones de cera. Los patrones y el sistema de ingreso de la aleación ya confeccionados, se unen con cera azul como se aprecia en las fotos N^os. 3 y 4.



FOTO 3

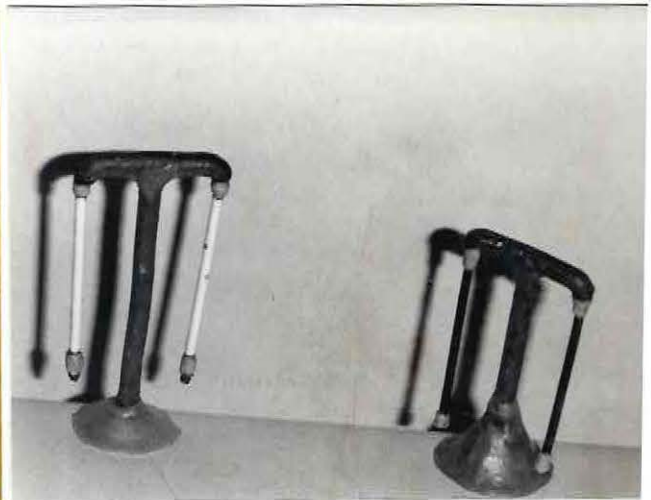


FOTO 4

De este modo se hicieron 5 modelos para los especímenes de prueba. Cada modelo con dos patrones de cera.

8. Cada patrón de cera fue verificado en sus dimensiones. Se observa que es muy difícil dar axialidad al patrón, ya que la cera tiende a deformarse; pero dentro de ciertos rangos, es factible conseguir cierta simetría.

8. REVESTIDO

El investido, se realizó con tres, de los modelos de cera a modo de prueba.

La preparación del investimento se realiza mezclando los componentes propios, con agua destilado, respetando la relación 8:1.

El investimento que se ocupa, es fabricado por el mismo laboratorista. Según se pudo averiguar, el investimento se compone de una base de silicato en su forma de cuarzo y de un ácido reactor, que se importa, llamado winder, compuesto el etil silicato condensado, (fabricado por la Unión Carbide), además de ácido clorhídrico al 30% y alcohol de quemar.

Las proporciones para cada uno de los componentes, son propias de cada laboratorista y por lo general, no las dan a conocer.

Para la preparación del investido de un molde de cera se usaron 800 grs. de investimento (compuesto preparado) y 100 cc. de agua destilada a 18°C. Esto se mezcla en un aparato vibrador durante 1 a 1,5 minutos; mientras tanto se sitúa el modelo de cera en el interior de un anillo de cobre, de 8 cm. de longitud y 8 cms. de diámetro. Para alargar la longitud del anillo, se rodea éste internamente con un cilindro de papel. Así se obtiene una

longitud de 10 cm., con lo cual se da completa cabida al modelo de cera.

Una vez que el investimento está vibrado, se procede a llegar al anillo, con el modelo en su interior. Todo el conjunto, se vibra durante dos minutos, para evitar la presencia de burbujas en las proximidades del patrón de cera.

El sistema recién explicado se muestra en la foto N°5.



FOTO 5

Transcurridos los 30 minutos del tiempo de fraguado, se retira el anillo de cobre y el papel interior; se revisa externamente el investido y queda listo para el proceso de descerado y posterior colado.

9. DESCERADO

Es un proceso relativamente simple que se realiza en un horno eléctrico a distintos regímenes de temperatura y con diversos tiempos. La función primordial, es permitir que la cera fluya, se derrita y se evapore completamente, dejando en el interior del investido, la forma de lo que se desea copiar en metal.



FOTO 6

En la foto N° 6, se muestra el horno que se empleó para dicho proceso. Es de procedencia alemana (F.F.A.) y la marca es Bremer Goldschlagerei.

El horno propiamente tal es lo que se observa en la parte superior de la foto. En la zona inferior, se ve el temporizador con regulador e indicador de temperatura.

Los tiempos de calentamiento se regulan según la expansión del revestimiento. La regulación de la temperatura es electrónica (platino-platino-radio). El reloj conmutador permite la programación del horno a la temperatura prefijada, hasta con 72 hrs. de anticipación.

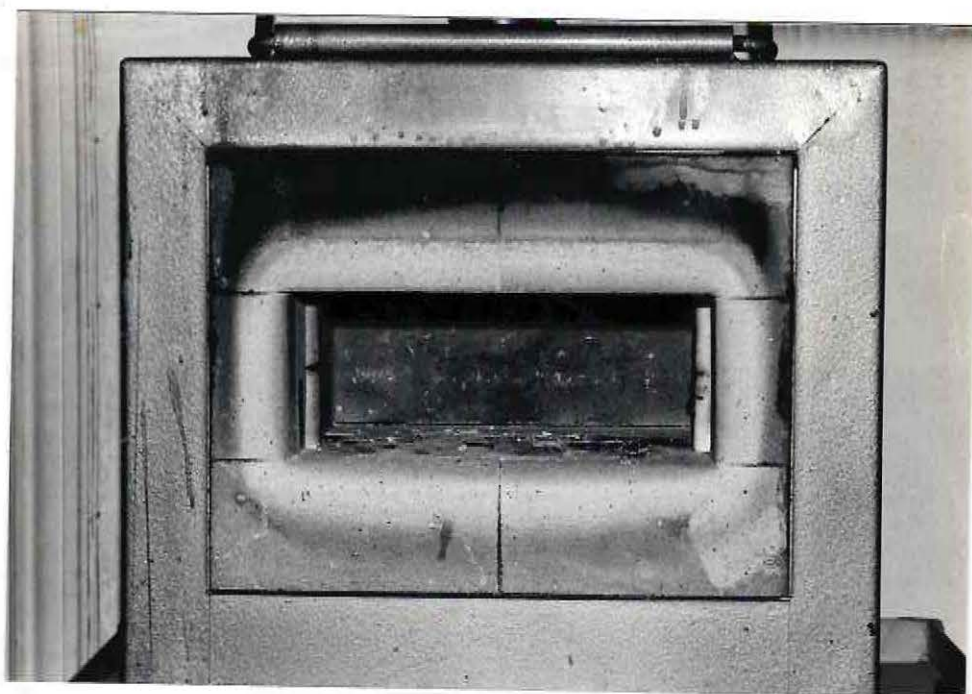


FOTO 7

El espacio interior del horno es de 15 x 20 x 25 cms. y está totalmente revestido por un material de arcilla refractario.

Una vez que el investido se pone dentro del horno frío, se procede a realizar el descerado, para lo cual se

aumenta la temperatura de 0°C a 400°C, manteniendo dicha temperatura por 20 minutos; luego aumenta de 400°C a 1000°C, manteniéndose los 1000°C durante 20 minutos.

El proceso total tarda 75 min. El investido se deja enfriar y se retira del horno para verificar su integridad. Siempre se debe tener la precaución de mantener al investido con el orificio de entrada hacia abajo, ya que el material de revestimiento se desgrana fácilmente y esto pueda alterar la forma interna del molde.

En la foto N° 8 se muestra el investido descerado.

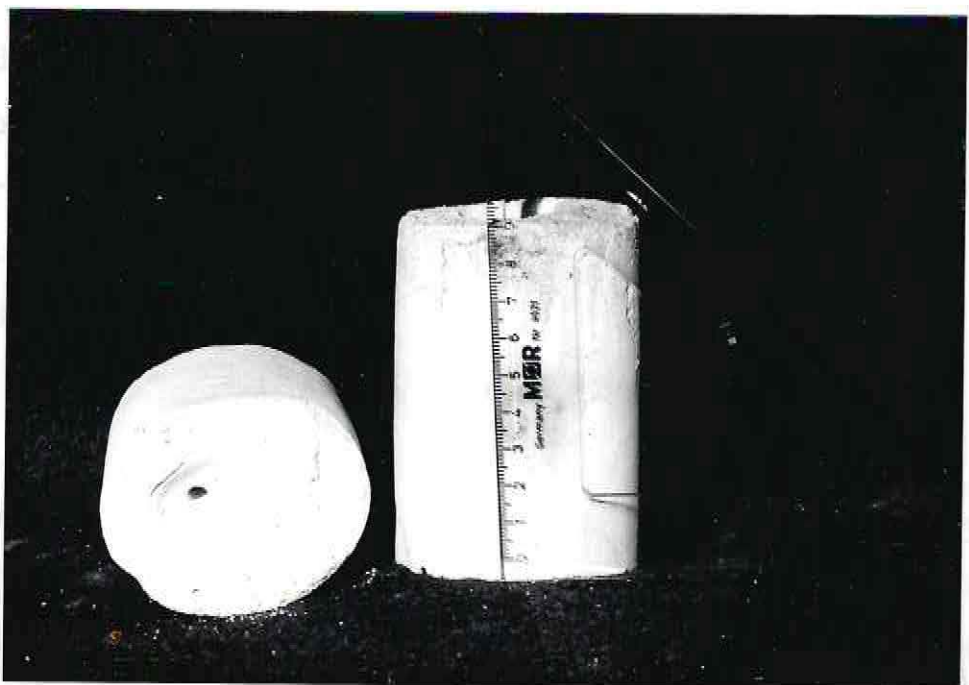


FOTO 8

10. FUNDICION

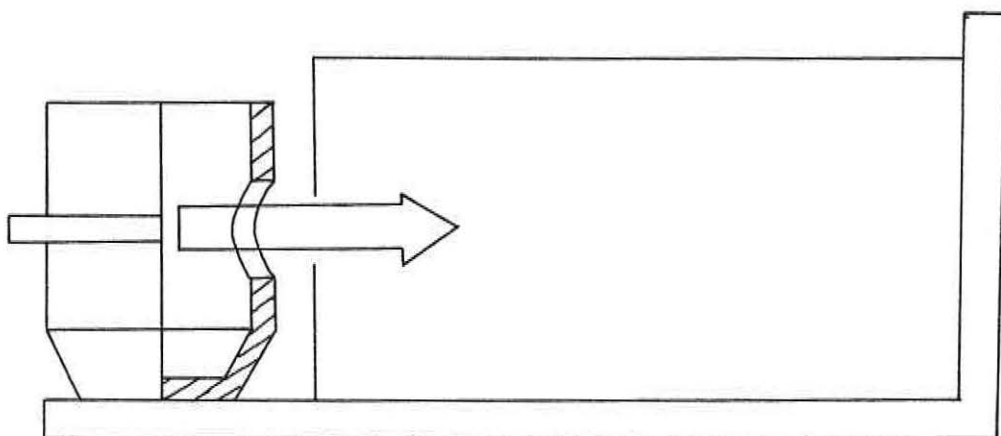
Inicialmente se fundieron dos, de las cinco aleaciones para probar el resultado, pues en el laboratorio no es habitual trabajar con colados tan grandes. Las aleaciones utilizadas fueron la Krupp y la Dentorium.

El primer paso en el proceso de la fundición es, el precalentamiento rápido del investido, en un horno eléctrico, hasta los 1000°C ; a esa temperatura se mantiene durante 15 minutos. A continuación, se saca el investido del horno, al rojo vivo y se ubica en la centrífuga; dando cinco vueltas, se tensa el resorte para que el sistema rote y posteriormente el metal fundido pueda ingresar por fuerza centrífuga. Una vez montado todo el sistema, se enciende el soplete; para regular correctamente la llama, se abre en el cilindro y en la perilla del soplete, primero la llave de oxígeno y luego la de acetileno.

Al estar las dos llaves abiertas, la presión para el oxígeno es de 1,75 a 2,5 atmósferas y para el acetileno, 0,2 atmósferas. La llama producida tiene un núcleo (zona reductora) de 5 a 10 mm. aproximadamente y un largo total de alrededor de 30 cms. (cono externo, zona oxidante). La temperatura de la llama en su núcleo central es de 1500°C mínimo, suficiente para fundir la aleación ($1370-1390^{\circ}\text{C}$).

La primera aleación que se probó fue la Dentorium.

Una vez que se enciende el soplete, se ubica la aleación en el crisol; entonces se procede a calentar el investimento para que recupere la temperatura perdida, desde que salió del horno, hasta que llegó a la centrífuga. Posteriormente se funde la aleación. El soplete se maneja suavemente y el metal se funde durante 30 a 70 segundos, se deben realizar constantemente movimientos circulares, para desprender el metal fundido, de la pared del crisol. El metal nunca debe verse brillante. A continuación se realiza el centrifugado y se corta el soplete, cerrando primero la manija del acetileno y después la del oxígeno (en orden inverso al encendido).



Durante las primeras vueltas de la centrifugación, se produjo, repentinamente, un gran ruido; se rompió el investido y el metal quedó totalmente esparcido en la pared interior de la centrífuga.

Después de este fracaso, se esperó que se enfriara el sistema, para recolectar los trozos del investido y analizarlos. Múltiples razones pudieron causar la ruptura del investido:

- Gran tamaño del molde.
- Fuerza centrífuga excesiva.
- Alguna fractura en el investido.
- Posible tope del investido con las paredes de la centrífuga, al girar, etc.

10.1. REPETIR FUNDICION Y COLADO

En este proceso, se repiten los mismos pasos que en el punto N° 10; sólo que esta vez se utiliza la aleación Krupp y un nuevo investido; este último, no presenta rasgo de fractura alguno y fue preparado en idéntica forma, a lo explicado en los puntos N°s. 8 y 9.

Los resultados obtenidos fueron los mismos del punto N° 10; es decir, ruptura del investido y pérdida del metal.

El metal se considera perdido, ya que en caso de recuperarlo, no tendría los mismos constituyentes originales y la idea del seminario, es precisamente trabajar con las aleaciones puras.

10-2. MOB Los fracasos se muestran en la foto N° 9.

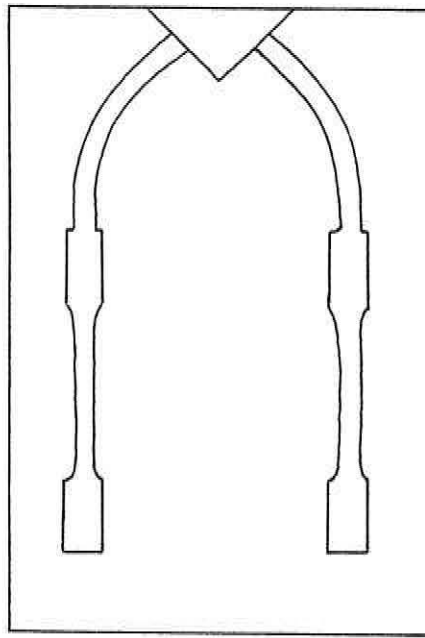


FOTOS

En la foto N° 9, se puede apreciar de que el fondo del investimento es muy delgado. Hay un punto de intersección del eje central de alimentación, con los ejes laterales, que conducen a la aleación, al cuerpo de prueba propiamente tal; luego de analizar el investido, se concluyó, que en dicho punto se produjo una importante presión, dado que la fuerza centrífuga era muy grande y área de choque inicial, de la aleación fundida era muy pequeño. Dicho de otro modo, por la inercia del metal fundido, éste no alcanzó a "doblar" hacia la zona correspondiente al cuerpo de prueba, con lo cual se fracturó el investimento.

10.2. MODIFICACION DEL PATRON DE CERA

Empleando el patrón de cera tallado, como se especificó en el punto N° 7, se hizo un nuevo investido; esta vez para evitar el problema que supuestamente causaba la falla, se modificó, en el patrón de cera, lo que dice relación con el eje central de alimentación.



Para evitar el punto de alta presión, se pretendió dar una forma circular a los vástagos de ingreso de la aleación, para producir un frenado, al paso del metal. En estos vástagos el grosor del investimento era mayor y por lo tanto más resistente. Con el mismo criterio se engrosó la zona inferior del investimento (ver la figura anterior).

El procedimiento seguido a continuación es el mismo descrito en los puntos N°s. 8 y 9.

Paralelo a esto, en Santiago, se logró

conseguir 50 gr. de la aleación Remanium G-FH, para suplir en parte, el déficit de metal a causa de los fracasos ya descritos y más aún, considerando la pérdida de dos aleaciones que estaban dentro del grupo de las más nombradas.

Con la seguridad de conseguir un resultado favorable, se procedió nuevamente como se describe en el punto N° 10 (fundición). Sin embargo y para gran pesar nuestro, ocurrió un nuevo fracaso. Esta vez el investido prácticamente se desintegró y el metal se dispersó, perdiéndose en su totalidad.

Presumiblemente, la causa de este nuevo fracaso se debió, a que esta vez el metal funcionó como émbolo y el aire atrapado en el interior del investido no pudo ser desalojado; como no se confeccionaron respiraderos, se produjo una enorme presión interna, que el material, de por sí frágil, no pudo resistir.

10.3. FUNDIDO EMPLEANDO OTRA TECNICA

Al acudir a la Universidad F. Santa María para explicar el motivo del retraso en la confección de los cuerpos de prueba a los cuales había que practicarle los ensayos, surgió otra alternativa; ésta consistía en realizar el fundido y colado correspondiente, mediante un sistema electrónico que ocupara un gas inerte y por lo tanto no oxida la aleación (lo que sí ocurre con el sistema de fundido que utiliza oxígeno y acetileno).

Según se explica, el cuerpo de prueba es de dimensiones muy pequeñas, por lo cual, aún en caso de resultar exitosa la fundición con oxígeno-acetileno, podría generarse una capa de óxido superficial (en el metal); con esto se vería aún más reducido el diámetro útil de trabajo (del colado), además de obtenerse una superficie escoriada y porosa. Finalmente las pruebas mecánicas aplicadas a estos colados, arrojarían resultados poco reales.

Este sistema está en la Universidad F. Santa María; es ocupado para soldar al arco piezas de precisión y de tamaño reducido.

El requisito para hacer el fundido era llevar el investido ya descerado y el metal a usar.

De este modo, con la esperanza de obtener un resultado favorable, se inició nuevamente el proceso, como se describió en los puntos N° 7, 8 y 9.

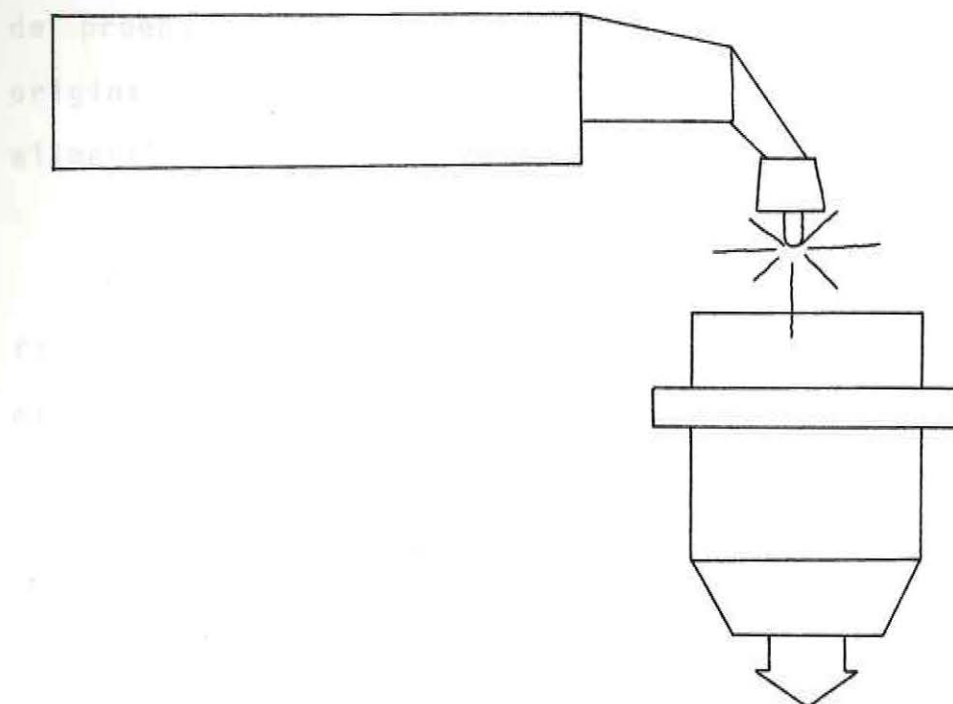
Esta vez se utilizaría para la fundición la aleación Remanium G-FH, recientemente adquirida.

Con mucho cuidado y entre algodones, se llevó el investido y la aleación al laboratorio de metalurgia (U.F.S.M.) para realizar la fundición.

La máquina que en esta ocasión se utilizó fue la soldadora Horbart Cybe-Tig (Precise control modular Tig arc welder) construida por la fábrica Horbart Brothers Co, Ohio, U.S.A.- Funciona con 32 volts de corriente alterna o 17 volts de corriente continua. Normalmente se utiliza para soldar, en un rango de 3-100 Amperes, dependiendo del metal; sin embargo, mediante un selector se puede calibrar entre 3 y 100 Amperes, y utilizarlo para fundir un metal.

Esta soldadura posee una pistola marca Welcraft, (de procedencia norteamericana) con un electrodo de tungsteno de 1 mm. de diámetro. Al soldar, o en este caso, al fundir, alrededor del electrodo, sale un gas inerte a presión, por varias perforaciones. Este gas tiene una composición de 99.9980% de argón, menos de una parte por millón de oxígeno y menos de una parte por millón de nitrógeno. El gas a presión (40-60 libras) va limpiando la soldadura o como en este caso va impeliendo la fundición.

Los nueve cubos de la aleación se pusieron en un crisol, perforado en la zona inferior (como embudo), que corresponde a la boca del ingreso del investido, como muestra la figura:



El investimento se calentó inicialmente en un horno eléctrico a 1000°C durante 15 minutos. Aplicando el arco voltáico al metal, a los 10 segundos, aproximadamente, este metal estaba completamente fundido y en ese momento comenzó un burbujeo sobre el crisol, que fue en aumento conforme pasaba el tiempo. Este fenómeno correspondió a una separación de fases de la aleación, en la que uno de los componentes, comenzó el burbujeo.

Se detuvo el proceso, se apagó la máquina y nuevamente se perdió otra aleación.

10.4. MODIFICACION DEL MODELO DE CERA, INVESTIDO Y FUNDICION.

Se refiere a la modificación del modelo de cera que preconiza la A.D.A.; no en lo que dice relación al cuerpo

de prueba, el cual se mantiene con las dimensiones originales; lo que se modifica, es el sistema de alimentación que indica la A.D.A.

Luego de un minucioso análisis de las probables fallas, que se tradujeron en fracasos, era necesario minimizar al máximo posible aquellos elementos considerados como causantes.

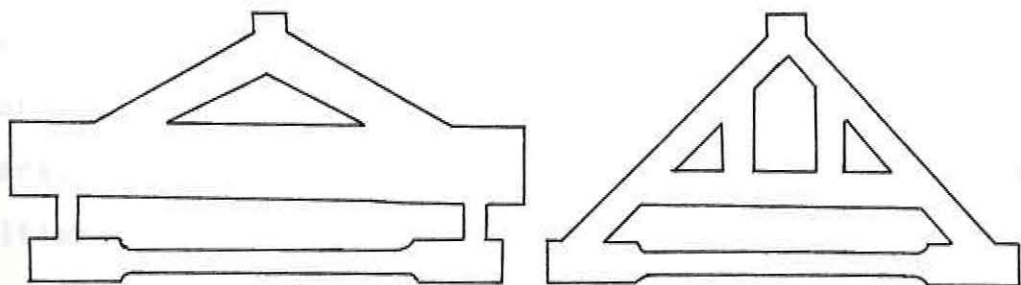
En primer término, el tallado del modelo de cera era demasiado grande y por consiguiente poco manejable; en segundo lugar, para realizar el modelo de cera que indica la A.D.A., se necesitarían entre 1,5 a 2 kg. de investimento, para evitar su ruptura durante el proceso de colado. Un tercer elemento a considerar, fue la calidad del investimento; suponiendo que ésta pudo influir en el resultado, se ocuparía un investimento de mejor calidad y por ende de mayor costo. Un cuarto factor a considerar fue el tallado de cera; aún siendo muy minucioso (específicamente en la zona del cuerpo de prueba), nunca se obtienen patrones totalmente iguales; por otro lado, debido a que durante el tallado de los patrones de cera se genera calor, se perdía la simetría longitudinal y por lo tanto no era posible lograr la axialidad adecuada. Un quinto punto conflictivo, era el radio (1/4") que une el vástago central del cuerpo de prueba con la cabeza del mismo; por lo general el tallado de ese radio nunca fue uniforme.

Considerando además lo que se explicó, en relación al fundido con oxígeno-acetileno, y a la capa escoriante que se acumula en la superficie del metal, era sin duda necesario, efectuar más de una modificación.

Sin embargo, surgen las interrogantes lógicas para el caso: ¿cómo es que entonces se fabrican las bases protésicas con elementos de diámetros mucho menores a los utilizados en los cuerpos de prueba? ¿cómo es que, de hecho, no hay tantos fracasos empleando el mismo investimento y fundiendo con oxígeno-acetileno?.

La respuesta, en la que coindieron varios laboratoristas, fue de que el sistema de alimentación, propuesto por la A.D.A. era poco eficiente, no hay un punto de frenado para la aleación antes de que esta llegue a la zona correspondiente al cuerpo de prueba, o que antes de la llegada a la zona útil, la aleación no se distribuye a través de varios canales de alimentación.

La explicación se expresa en las figuras siguientes:



(CASO A)

(CASO B)

En el caso A se muestra una solución, que cuenta con una zona de frenado del metal y en el esquema B se observa otra alternativa, en la que se dispone de varios canales de alimentación. En ambos esquemas, se evita el choque violento de la aleación contra una sola pared del investido, con lo cual la fuerza de ingreso se distribuye.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones, se iniciaron conversaciones en otro laboratorio, que tuviera sistema de fundido por inducción. A pesar de que en la introducción se dijo, que se buscaría obtener cuerpos de prueba, mediante las técnicas de laboratorio de mayor uso (el sistema por inducción no lo es), los numerosos fracasos anteriores obligaron a intentar una nueva alternativa; además sólo iban quedando dos aleaciones.

Finalmente, se llegó a determinar qué medidas específicas se tomarían para realizar un nuevo intento de colado.

10.4.1. En primer lugar, era necesario confeccionar un patrón de cera que fuera idéntico a las normas indicadas por la A.D.A.; por otro lado, los sucesivos patrones de cera, debían ser iguales entre sí; para lograr esto último, se haría una "impresión" del primer patrón y un posterior vaciado en cera. Así se obtendrían todas las copias requeridas.

Dado que el tallado resultaba complejo, se consultó al laboratorista si podía efectuarse con otro material, como madera o acero. La respuesta fue positiva, pues lo importante era la forma y no el material empleado para obtenerla.

De este modo, surgió la idea de obtener un patrón de metal mediante el torneado de una barra de acero, hasta obtener las medidas requeridas por la A.D.A., como se muestra en las fotos N^os. 10 y 11.



FOTO 10

El torneado no fue fácil, ya que con diámetros tan pequeños (2,3 mm) y longitudes largas (casi 70 mm.), el metal tiende a formar un helicoide cuando entra en contacto con la cuchilla de corte. Varios cilindros de acero (al menos tres), se fracturaron, por lo tanto los

cortes debieron realizarse lentamente y con mucha paciencia, hasta conseguir la forma deseada.

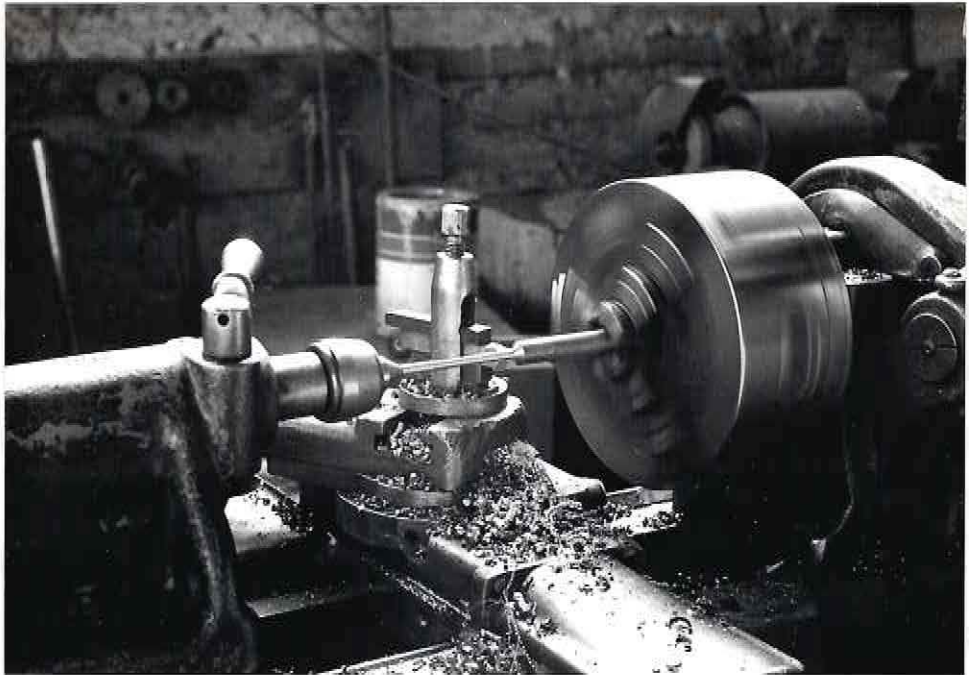


FOTO 11

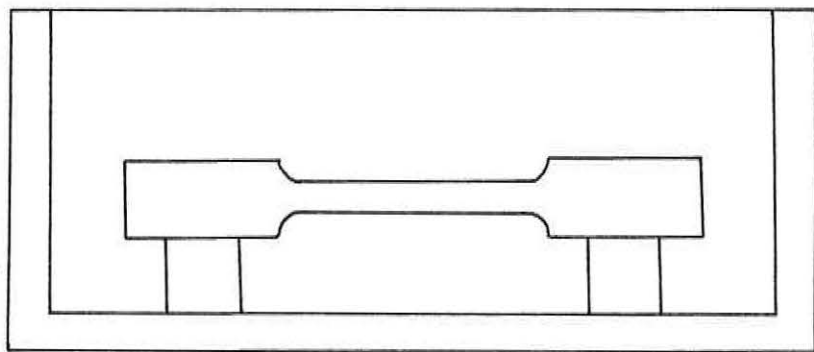
Una vez obtenido el cuerpo de acero, se cortó en el mismo torno a la longitud deseada y se comprobaron las medidas y la axialidad, que era lo que en definitiva se buscaba. La foto N° 12 muestra el cuerpo de acero terminado.



FOTO 12

realizó Es importante dejar constancia, que la A.D.A. no especifica el diámetro de la cabeza del cuerpo de prueba, como tampoco la longitud de la misma. La que se realizó en este caso tenía un diámetro de 6 mm. y una longitud de 20 mm.

10.4.2. En segundo lugar y habiendo obtenido el cuerpo de prueba en acero, se procedió a duplicarlo con la técnica de un gel a base de silicona, con un componente A con otro B, que se mezclan en una taza de goma, durante 10 segundos en forma enérgica, aplastando la masa contra las paredes de la taza; transcurrido el tiempo de espatulado, se vertió el contenido de la taza, sobre el torneado de acero que descansaba en una caja, para evitar que el gel derramara; esto se aprecia en la siguiente figura:



La sustancia copiadora se llama Wirocop y es fabricada por la casa Bego (R.F.A.). Cuando este material ha polimerizado, cubriendo el torneado, adquiere una consistencia elástica (semejante a la de las siliconas); entonces, con una hoja de bisturí bien afilada, se

realizó una insición, sobre una de las caras largas del molde elástico, para retirar el patrón de acero de su interior. Posteriormente se fundió cera verde, (de baja fusión), con lo cual se llenó dicho molde; se coaptaron los bordes de la incisión, con lo que se permitió el reflujó de los excesos de cera y se dejó enfriar el sistema. El patrón obtenido, esta vez de cera, se aprecia en la foto N° 13.



FOTO 13

El sistema de reproducción es bastante bueno y la copia obtenida, muy fiel. En la foto N° 14 se observa el patrón de acero junto a su réplica en cera.

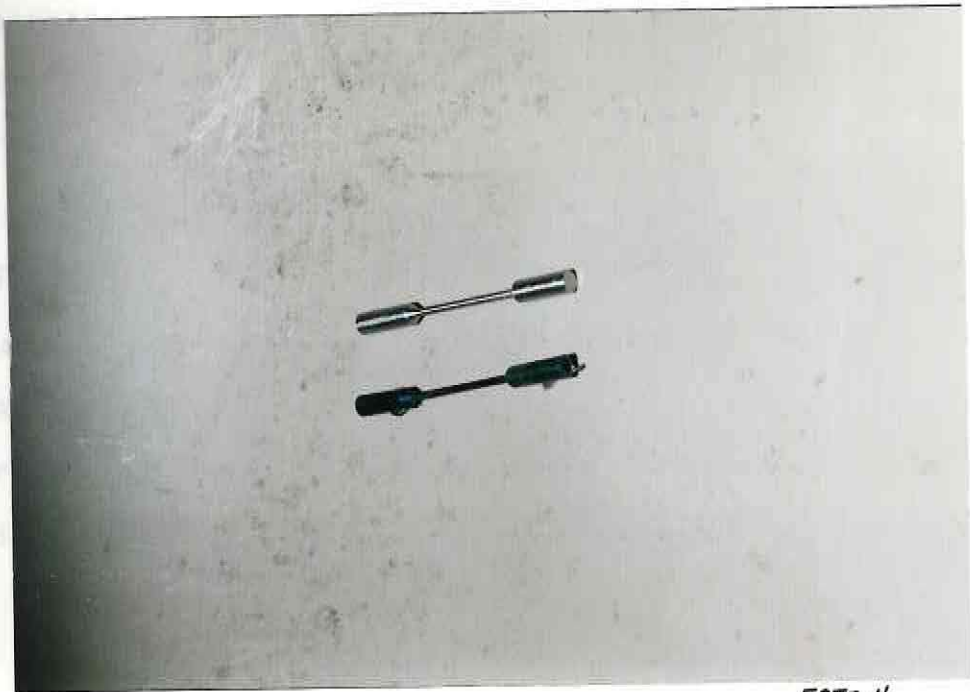


FOTO 14

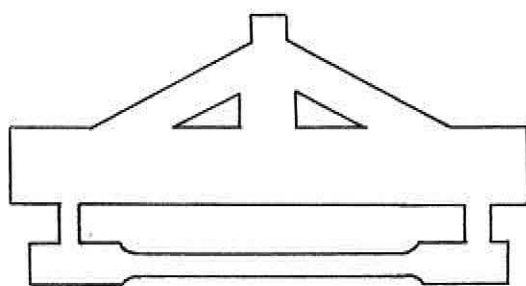
Además, este método de duplicado, permite obtener el número de copias que se desee, tal como se muestra en la foto N° 15.



FOTO 15

Confeccionado el patrón de cera correspondiente al cuerpo de prueba, se debían hacer las cámaras de alimentación.

Teniendo presente el hecho, de que la aleación no debía ingresar directamente a lo que sería el cuerpo de prueba, se diseñó un modelo de cera que contara con varios vástagos de entrada, y con una cámara de frenado al paso de la aleación, como se muestra en el siguiente esquema:



El único inconveniente que surge de este modelo de cera, es que se puede obtener un solo cuerpo de prueba, dada la cantidad de metal de que se dispone. El modelo tiene una dimensión de 7,7 x 3,6 cm., y es bastante más compacto que el que preconiza la A.D.A.

10.4.3. En tercer lugar se realizó el investido del modelo de cera. En esta oportunidad se dejó de lado el investimento preparado por el laboratorista y se utilizó uno, de procedencia alemana de la firma Bego, llamado

Wirovest (a base de fosfato). Se prepara con agua destilada, a 20°C, en una relación polvo-agua de 6,5:1. El investido se realizó del mismo modo que en el punto N° 8, sólo que esta vez se ocupó 600 grs. de polvo y 92 cc. de agua destilada, con un tiempo mínimo de trabajo de 5 minutos.

10.4.4. El cuarto paso, una vez fraguado el investimento, fue realizar el descerado en forma similar al punto N° 9. Para esto se utilizó un horno marca Elthem, fabricado por la casa Bego. El régimen de calentamiento también varió. Se aumentó la temperatura de 0° a 240°C y allí se mantuvo durante 120 minutos, para permitir, el primer cambio químico del investimento. En la foto N° 16 se muestra el horno empleado.



FOTO 16

Dado que el Wirovest (investimento) alcanza su expansión máxima entre los 650°C y 950°C, se fija la temperatura a 900°C y una vez que se alcanza dicho valor, se mantiene durante 15 minutos, para realizar a continuación el colado.

10.4.5. En quinto lugar, se describe el proceso de colado. Para esta ocasión, se utilizó la centrífuga por inducción marca Fornax, de la fábrica Bego. Este aparato se aprecia en la foto N° 17.



FOTO 17

Mediante este método de fundición, se obtendrían los cuerpos de prueba de las aleaciones Wironit Duro y Wironit Blando.

En la foto N° 18, se muestra el interior de la centrífuga con el brazo de centrifugado y su contrapeso, el que posee un dispositivo de agarre, que se desplaza fácilmente a la posición deseada. El brazo de centrifugado queda fuera de la zona de calor; con esto la persona puede maniobrar, incluso sin tener que utilizar guantes protectores.



FOTO 18

En la misma foto se observa el crisol de cerámica, que se utiliza para dar cabida al metal que se funde.

El sistema de fundido, se basa en un triodo emisor de 3 Kw. (válvula osciladora) que permite tiempos de fundición muy reducidos. En el caso concreto, de los 50 grs. de aleación de Cr-Co, se necesitaron 66 segundos.

Se depositó el metal en el crisol de cerámica, se posicionó el investido a 900°C en el brazo de la centrífuga y se cerró la tapa; la palanca roja, que muestra la foto N° 17 quedó en la posición alta y se fundió la aleación, en este caso a 1400 °C. Cuando ya se hubo alcanzado la temperatura de fusión del metal se bajó la palanca y así comenzó el proceso de centrifugado. El descenso de la palanca se realizó lentamente, para que el centrifugado se efectuara a la temperatura ideal de fundido, de 1370 °C; así, a una velocidad rotacional aproximada, de 9,6 metros/segundo, se hizo el colado.

Mediante un espejo abatible, ubicado en la tapa de la Fornax (centrífuga), se podía controlar todo el proceso de fundido, antes de iniciar el colado. La maniobra de colado tarda entre 5 a 8 segundos y en general, después de las cinco primeras vueltas de la centrífuga, el metal ya ha penetrado en el investido.

En esta oportunidad, con las dos aleaciones empleadas se obtuvo un resultado óptimo y por lo tanto se pudieron lograr cuerpos de prueba adecuados para realizar los ensayos.

10.4.6. En último término y para acabar el punto que dice relación con el fundido, es necesario destacar, que luego de haber ocupado seis aleaciones y haber obtenido dos cuerpos de prueba y cuatro fracasos, se consideró que la muestra era muy reducida; por esta razón, se realizaron gestiones en Santiago, para ver la posibilidad de conseguir algunas aleaciones y así aumentar el número de cuerpos de prueba. Se logró reunir tres tipos de metales (tercera y última etapa en la adquisición de aleaciones), de distintas marcas a las ya probadas; 50 grs. de la aleación Remanium GM-380, 50 grs. de la aleación Jelenko y 50 grs. de la aleación Wirocast.

Debido al enorme gasto económico que implicó la preparación de los cuerpos de prueba en el laboratorio de Viña del Mar, las últimas aleaciones adquiridas se trabajaron con un laboratorista de Santiago, a quien se le entregó toda la información necesaria para obtener cuerpos de prueba, según el método empleado en Viña del Mar (explicado en detalle en el desarrollo del punto 10.4). En el transcurso de una semana, se recibieron sólo dos cuerpos de prueba y una nota explicando que un caso había fracasado, por contaminación del metal. Los cuerpos de prueba obtenidos correspondían a las aleaciones Remanium GM-380 y Jelenko. El fracaso fue con la aleación Wirocast.

Finalmente, de nueve metales, se obtuvieron cuatro cuerpos de prueba, correspondientes a las aleaciones

Jelenko, Remanium GM-380, Wironit Duro, Wironit Blando; la primera, representante de la aleación más ocupada, la segunda y tercera, lo que medianamente se usa y la cuarta, la menos utilizada.

11. OBTENCION DEL CUERPO DE PRUEBA

En este punto se analizan todas las características macroscópicas de los cuerpos de prueba.

En primer lugar, se cortaron los excesos de metal, luego se hizo una limpieza superficial con arena y por último, se pulió la superficie del metal con un disco de carborundum con el objeto de eliminar restos de metal (forma de burbujas positivas), cuidando de no afectar las dimensiones del cuerpo de prueba.

Terminado este proceso, se comenzó el análisis del cuerpo de prueba (comparándolo con el patrón de acero).

11.1. INTEGRIDAD

Se observó que el colado estuviera completo y que no hubiera zonas donde faltara metal de manera notoria.

11.2. FORMA

La forma del colado de cromo-cobalto debía ser igual a la forma del patrón de acero, a simple vista (cabezas y vástago central).

11.3. POROS - FISURAS

Ya en un análisis minucioso, se comprobó que el

metal, en su superficie estuviera desprovisto de poros y fisuras, principalmente en la zona del vástago central y en la intersección de éste con la cabeza del cuerpo de prueba.

11.4. AXIALIDAD

Haciendo rotar los cuerpos de prueba en torno a su eje mayor, no debían producirse "saltos"; esto implicaba que ni las cabezas ni los vástagos debían girar en excéntrica, de existir algún movimiento excéntrico, éste tendría que ser mínimo.

11.5. DIMENSIONES

Estas tenían que ser las más exactas posibles y estar dentro de los rangos de tolerancia aceptados por la A.D.A. En este punto, lo más importante en cuanto a dimensiones, es lo que se refiere a diámetro y longitud del vástago central, como también el radio que une dicho vástago, con las cabezas del cuerpo de prueba.

11.6. RESISTENCIA

Manualmente, se traccionaron los cuerpos de prueba en su sentido axial y se flectaron, para comprobar de que al menos, bajo esas fuerzas el cuerpo no cedía. Con esto se intentó pesquisar la presencia de burbujas al interior del colado.

11.7. COLOR

Debía ser uniforme en todo el cuerpo de prueba.

En general, las aleaciones eran gris opaco y de aspecto muy similar.

Luego de verificar para todas las aleaciones, estos criterios (11.1 - 11.7), se concluyó que estaban aptas para realizarles los ensayos, pues cumplían con todos los requisitos exigidos.

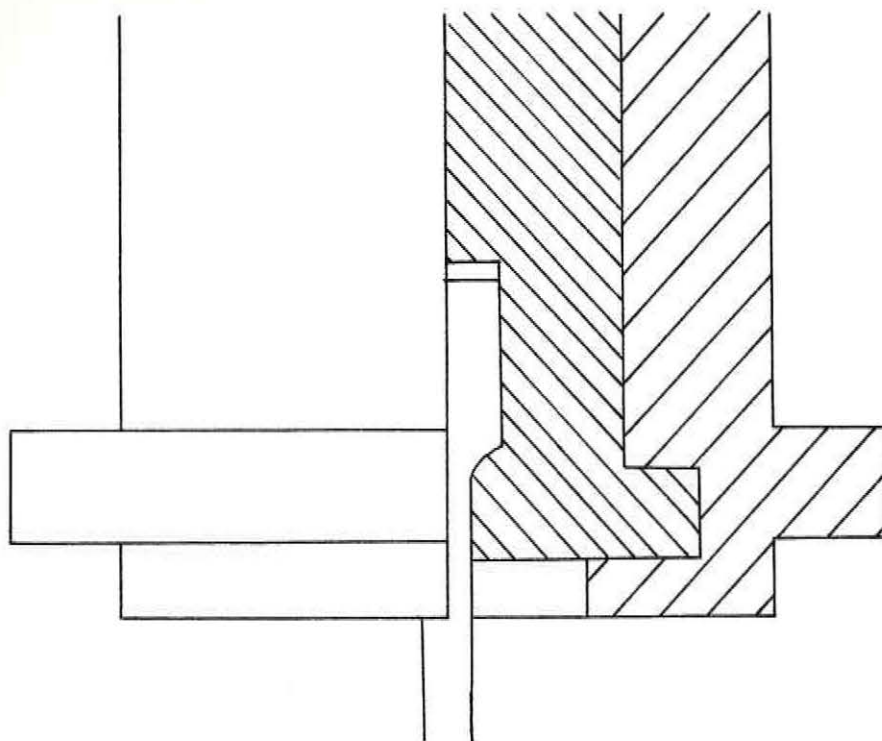
12. ENSAYOS DE LOS CUERPOS DE PRUEBA

Como última etapa, en el proceso de investigación, se realizaron sobre los colados diversas pruebas, previamente seleccionadas. Para esto fue necesario solicitar disponibilidad de las máquinas y de los elementos que se ocuparían.

Cada uno de los cuerpos de prueba fue marcado para luego poder diferenciarlos. Así, cada marca se identificó con una letra; Jelenko: J; Remanium GM-380: R; Wironit Duro: D; Wironit Blando: B. Finalmente todos los cuerpos de prueba se empacaron en sobres con la respectiva letra que los caracterizaba y se procedió secuencialmente a realizar los ensayos y análisis de metal.

12.1. PRUEBA TRACCIONAL

Para realizar los ensayos traccionales, se contó con la máquina Instron. Cabe hacer notar que, normalmente en los laboratorios de la U.T.F.S.M. se utiliza dicho equipo, para realizar ensayos de tracción sobre cuerpos de prueba cuya longitud, es a lo menos de 15 cm. y de diámetro útil de 2 cms.; por lo tanto para efectuar las pruebas sobre la aleación de Cr-Co, con las dimensiones que establece la A.D.A., fue preciso la construcción de mordazas especiales, para poder tomar los cuerpos de prueba, como se muestra en el esquema.



Los datos técnicos de la máquina traccional Instron son los siguientes:

- * Es fabricada por la casa Instron Corporation, ubicada en Washington S.T. U.S.A.
- * Cuando el cuerpo de prueba se ubica entre las mordazas, mediante un selector, se puede elegir la velocidad de estiramientos, dependiendo del metal que se pruebe.

<u>VELOCIDAD STANDARD</u>		cm/minuto
50	-	5
20	-	2
10	-	1
5	-	0,5
2	-	0,2
1	-	0,1
0,5	-	0,05

<u>VELOCIDAD LENTA</u>		cm/minuto
5	-	0,5
2	-	0,2
1	-	0,1
0,5	-	0,05
0,2	-	0,02
0,1	-	0,01
0,05	-	0,005

- * La máquina cuenta también, con un selector para elegir la sensibilidad de tracción; dicho de otro modo, se puede determinar la magnitud de la carga que se desea utilizar, para traccionar los cuerpos de prueba.

<u>MAGNITUD DE LA CARGA</u>		<u>SENSIBILIDAD CON QUE SE MIDE</u>
0	- 500 gr	1 gr
100	- 2000 gr	10 gr
1	- 50 kg	100 gr
2	- 100 kg	200 gr
10	- 500 kg	1 Kg
50	- 2500 Kg	5 kg
100	- 5000 kg	10 kg
200	- 10.000 kg	20 kg
500	- 50000 kg	30 kg

- * Esta compleja máquina además posee un relais, que detiene el proceso, cuando el cuerpo de prueba se rompe.

* Se puede adosar al cuerpo de prueba un extensómetro, que mide la elongación que sufre el metal, durante la tracción. Sin embargo en este caso no fue posible utilizarlo, porque el extensómetro se ubica entre las mordazas de tracción y como el cuerpo de prueba era muy pequeño tales mordazas estaban muy juntas y no daban cabida al medidor de extensión.

En la foto N° 19 se observa la parte de la máquina que realiza la tracción del cuerpo de prueba.



FOTO 19

La mordaza superior está estática. En la foto N° 19 se observa modificada, con uno de los cuerpos de prueba en posición.

La mordaza inferior es la que se mueve de acuerdo a lo programado, dependiendo del metal a ensayar. Tal movimiento, es de tipo vertical y se produce a través de unos railes ubicados internamente, en las columnas laterales de esta parte de la máquina. Prácticamente al lado, se encuentra el "cerebro" de la unidad traccional. Esta parte se observa en la foto N° 20. En ella se programa la velocidad traccional, la carga y rango de la sensibilidad a utilizar y la velocidad del papel de la impresora inserta en ella. (La marca de la impresora es Rika-Denki, de procedencia norteamericana), la velocidad del papel con respecto a la punta impresora va de 1 cm/seg a 60 cm/seg.



FOTO 20

Prueba traccional propiamente tal:

En primer lugar y luego de reunir todos los elementos necesarios para realizar el ensayo, se midió para cada cuerpo de prueba, el diámetro del vástago central, en tres puntos diferentes; uno al centro de éste y los otros a los extremos del mismo, en la cercanía de la unión entre el vástago central y la cabeza. Con estos datos, se determina un diámetro promedio del vástago, para calcular posteriormente el esfuerzo en el punto de fluencia del material y el esfuerzo máximo de la sección transversal del material; o dicho de otra forma, sirve para calcular el punto de fluencia por unidad de área y el punto último por unidad de área.

En segundo lugar, se midió la longitud del vástago de cada uno de los cuerpos de prueba, para determinar la longitud inicial (L_i) y compararla con la longitud final (L_f) del cuerpo, después de haber sido traccionado. Con estos datos se calcula la deformación unitaria del metal y la ductibilidad.

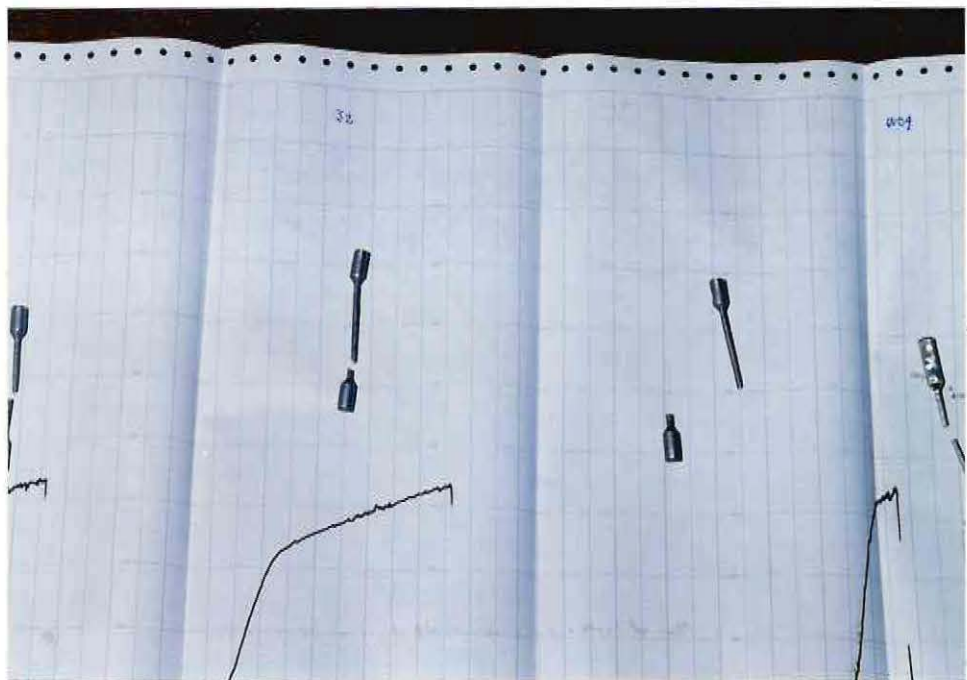
Los datos obtenidos de las mediciones iniciales fueron los siguientes:

<u>ALEACION</u>	<u>DIAMETRO 1</u>	<u>DIAMETRO 2</u>	<u>DIAMETRO 3</u>	<u>PROMEDIO</u>	<u>LONGITUD INICIAL</u>
JELENKO	2,5	2,4	2,5	2,46	31,6
REMANIUM	2,5	2,2	2,3	2,33	31,4
WIRONIT B	2,3	2,4	2,4	2,36	32,7
WIRONIT D	2,2	2,1	2,2	2,16	34,3

Todas las mediciones están en mm.

Posteriormente y siguiendo el mismo orden, se realizaron las pruebas traccionales, hasta obtener la ruptura de cada aleación. Para tal efecto se calibró la máquina Instron, con una carga máxima de 1.000 kg. y 10 kg. de sensibilidad; también se calibró la velocidad del carro de carga en 2 mm/minuto y la velocidad del papel de la impresora, en 3 cm/minuto. Estos datos son importantes para interpretar los gráficos registrados.

En la foto N° 21 se muestra parcialmente lo obtenido; los gráficos serán analizados en el capítulo de resultados.



La ruptura del metal, en todos los casos, se produjo en la zona del vástago central; por lo tanto, en lo referente a técnica, el resultado fue óptimo.

Uno de los cuerpos de prueba traccionado y roto se muestra en la foto N° 22.



FOTO 22

A cada metal, se le realizó luego (uniendo los dos trozos obtenidos a través del rasgo de fractura), la medición del largo final en mm. Los valores se expresan en la siguiente tabla:

<u>ALEACION</u>		<u>LARGO FINAL</u>
Jelenko		34,65
Remanium		34,5
Wironit B		34,57
Wironit D		35,3

La información de las tablas anteriores y de los gráficos obtenidos, serán mostrados y analizados en el capítulo de resultados.

El tiempo invertido, en la realización del ensayo de los cuatro cuerpos de prueba, fue de 1,5 hr. aproximadamente.

12.2. PRUEBA DE DUREZA

En los laboratorios de metalurgia de la Universidad F. Santa María, existen al menos, tres métodos para medir dureza. Lo que interesaba, idealmente, era medir la macrodureza y la microdureza.

12.2.1. MICRODUREZA

Se refiere a la dureza estructural de los granos que componen la aleación.

Una vez que el metal se ha preparado superficialmente, con el objeto de ubicar la estructura granular correspondiente; entonces se pone en un microscopio, marca Leitz Westzlar de fabricación alemana, que se muestra en la foto N° 23. Se ubica en el campo visual cuadriculado el grano al que se desea medir la dureza y se presiona un cable disparador, adosado a la estructura del microscopio. Del extremo del cable sale una aguja diamantada que choca con una fuerza de 3 pondios sobre el grano a medir, dejando una impronta o indentación, que se dimensiona, según la rejilla cuadriculada del campo visual.

<u>ALEACION</u>	<u>PESO</u>	<u>VOLUMEN</u>
Jelenko	6,0	1,385
Remanium	6,0	1,378
Wironit Blando	6,1	1,360
<u>Wironit Duro</u>	<u>6,1</u>	<u>1,289</u>



RESULTADOS

10
11
12
13
14

RESULTADOS Y GRAFICOS

1.2. 2

de prant
re d'arros
es el punto

15
16
17
18

RESULTADOS

1. RESULTADOS DE LA PRUEBA TRACCIONAL

1.1. CALCULO DEL AREA DE SECCION TRANSVERSAL

Con los datos obtenidos del diámetro promedio del vástago central de los cuerpos de prueba, se procedió a calcular el área de la sección transversal de los mismos, mediante la expresión matemática:

$$A = P1 \cdot r \quad \text{de donde } A : \text{área en mm}^2$$

P1: valor constante adimensional
r : radio del vástago en mm

<u>ALEACION</u>	<u>DIAMETRO PROMEDIO</u>	<u>A</u>
Jelenko	2,46	4,752
Remanium	2,33	4,154
Wironit Blando	2,36	4,374
Wironit Duro	2,16	3,664

1.2. DETERMINACION DE LAS CARGAS

En el momento en que se están traccionando los cuerpos de prueba y una vez que en el gráfico se observa un cambio en la direccionalidad de la curva, se anota el valor de esfuerzo en el punto de fluencia (Pf) que corresponde al valor límite

de la zona propocional del metal (o puramente elástica). Cuando se supera esta zona y la curva cambia nuevamente de dirección, se anota el valor de esfuerzo último del material (Pu) o esfuerzo máximo (Pm), que es la fuerza máxima, capaz de soportar el metal. Con un pequeño incremento de la fuerza, e incluso manteniendo la fuerza última, se produce la ruptura del metal. Todos los valores se expresan en Kgr.

<u>ALEACION</u>	<u>Pf</u>	<u>Pu</u>
Jelenko	190	330
Remanium	200	335
Wironit Blando	250	345
Wironit Duro	260	350

1.3. DETERMINACION DE LONGITUD FINAL Y DEFORMACION TOTAL

Una vez que se han roto los cuerpos de prueba, a cada uno se le mide la longitud final (Lf), coaptando los bordes de la fractura; como ya se conocía la longitud inicial (Li), se calcula el alargamiento o deformación total del cuerpo (d), mediante la ecuación $d = Lf - Li$ en mm.

<u>ALEACION</u>	<u>Lf</u>	<u>Li</u>	<u>d</u>
Jelenko	34,65	31,60	3,05
Remanium	34,50	31,40	3,10
Wironit Blando	34,57	32,70	1,89
Wironit Duro	35,30	34,30	1,00

1.4. CALCULO

1.4. CALCULO DE LA DEFORMACION UNITARIA

Se define como el cambio de longitud que experimenta un cuerpo de prueba, por unidad de longitud. Expresada algebraicamente queda:

$$e = (d/Li) \quad \text{donde} \quad e : \text{deformación unitaria en mm/mm.}$$

$d : \text{deformación total en mm.}$

$Li : \text{longitud inicial en mm.}$

<u>ALEACION</u>	<u>d</u>	<u>Li</u>	<u>e</u>
Jelenko	3,05	31,60	0,09651
Remanium	3,10	31,40	0,09872
Wironit Blando	1,87	32,70	0,05718
Wironit Duro	1,00	34,30	0,02915

1.5. CALCULO DE LA DUCTILIDAD

Este término (ductilidad), es lo mismo que la deformación unitaria porcentual y se obtiene al multiplicar $e \times 100 = D$ donde e : deformación unitaria en mm/mm.

d : ductilidad en %.

<u>ALEACION</u>	<u>DUCTILIDAD</u>
Jelenko	9,651
Remanium	9,872
Wironit Blando	5,718
Wironit Duro	2,915

1.6. CALCULO DE ESFUERZO

De esta manera se miden las fuerzas internas del cuerpo que se producen por acción de las fuerzas externas o cargas.

La intensidad de la fuerza se llama esfuerzo o esfuerzo unitario y se define como fuerza por unidad de área.

Así se pudo determinar el esfuerzo unitario para el punto de fuelcia (Sf) y el esfuerzo unitario para el punto último o máximo (Su).

La ecuación matemática para obtener dichos valores es:

$$S = P/A \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} S: \text{esfuerzo unitario kg/mm}^2 \\ P: \text{carga aplicada en kg.} \\ A: \text{área sobre la que actúa la carga en mm} \end{array}$$

ALEACION	Pf	Pu	A	Sf	Su
Jelenko	190	330	4,752	39,97	69,43
Remanium	200	335	4,154	48,13	80,63
Wironit Blando	250	345	4,374	57,15	78,86
Wironit Duro	260	350	3,664	70,95	95,51

1.7. ANALISIS DE LOS GRAFICOS OBTENIDOS

Estos gráficos representan el diagrama esfuerzo-deformación unitaria. La descripción de la carga, que se

aplica sobre el cuerpo de prueba y que se va incrementando paulatinamente, hasta que se presenta la fractura, como también la deformación unitaria que va adquiriendo la probeta, en todo momento, pueden quedar expresados en una gráfica.

Considerando como datos:

- carga empleada (magnitud) : 1000 kg.
- velocidad de la carga empleada : 2 mm/minuto.
- velocidad del papel de la impresora : 3 cm/minuto =
30 mm/minuto.

Siendo: V_p : velocidad del papel.

S_p : distancia recorrida por el papel.

t : tiempo transcurrido en el ensayo.

V_c : velocidad de la carga empleada.

S_c : deformación del cuerpo de prueba.

Dado que el tiempo empleado en la prueba, es el mismo tanto para la tracción de la probeta, como para la impresora y sabiendo que $V = S/T$, se tiene:

$$V_p = S_p/T_p \quad \text{de donde} \quad T_p = S_p/V_p.$$

$$V_c = S_c/T_c \quad \text{de donde} \quad T_c = S_c/V_c.$$

y dado que $T_p = T_c$, entonces

$$S_p/V_p = S_c/V_c, \text{ quedando finalmente } S_c = \frac{(S_p \times V_c)}{V_p}$$

Si S_c se divide por L_i , se obtiene la deformación unitaria $e = S_c/L_i$.

Siendo S_c : estiramiento del cuerpo de prueba.

S_p : recorrido del papel; este dato se obtiene directamente, midiendo el papel.

V_c : velocidad con que se aplica la carga.

L_i : longitud inicial del cuerpo de prueba.

De este modo se pueden obtener los valores del eje horizontal del gráfico. El valor del eje vertical, se toma midiendo directamente el papel que está cuadrículado y dividido en diez partes. Como se aplicaron cargas de 1000 kg., entonces, cada parte representa 100 kg.

Normalmente, en los gráficos de esfuerzo o tensión-deformación, los valores que se utilizan son, en el eje de las abscisas, deformación unitaria y en el eje de la ordenadas, el esfuerzo unitario ya que de esta forma, la información graficada es para la aleación usada y no para la carga empleada.

1.7.1. Al analizar todos los gráficos obtenidos, en líneas generales, se observa que la curva no es armoniosa, sino por el contrario, es dentada. Las razones de esto se explican a continuación:

- * El vástago central del cuerpo de prueba, no tiene un diámetro constante, de hecho fue preciso calcular un diámetro promedio.
- * La forma de la sección transversal del vástago central, no es un círculo perfecto; hay zonas ovoideas.

- * Se sabe que al someter un cuerpo (probeta) a una carga traccional, éste reacciona oponiendo una resistencia de igual magnitud y dirección, pero de sentido opuesto a esta carga; paralelamente, a nivel estructural, las moléculas que conforman la aleación, modifican su ordenamiento, lo que se traduce como un endurecimiento del metal. Dado que el diámetro del vástago central es inconstante y la forma de la sección transversal también, los puntos en los cuales se origina la resistencia o endurecimiento no aparecen en forma directa o proporcional a la carga ejercida. La expresión de todo este fenómeno se aprecia en la gráfica, donde se observa una curva dentada (sería una curva lisa, si el cuerpo fuera completamente regular).

1.7.2. En el análisis del mismo gráfico, al trazar una recta vertical, paralela al eje de las ordenadas, que corte al eje de las abscisas, justo en el punto de ruptura del metal se puede observar que el valor obtenido no es el de la deformación unitaria real, sino que es mayor. Las razones que explican estos fenómenos son:

- * Cuando se comienza a traccionar el sistema, no sólo se está estirando el cuerpo de prueba, sino que también las mordazas fabricadas para afirmar a la probeta; dado que la aleación de Cr-Co es dura o poco dúctil, la deformación que sufren dichas mordazas no es despreciable y por consiguiente influye en el gráfico.

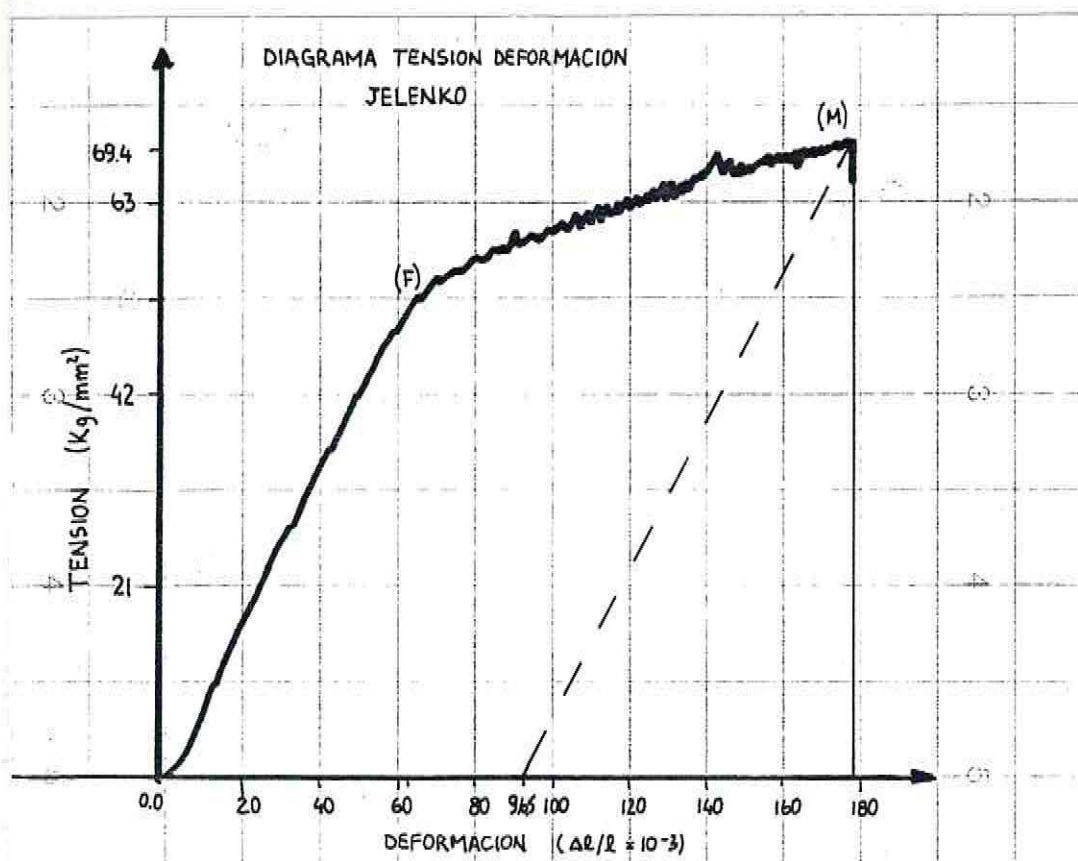
- * El cuerpo de prueba, según lo preconizado por la norma DIN 13212, debe tener una longitud no mayor que diez veces su diámetro. En caso contrario, el punto de ruptura del metal, no corresponde a la deformación unitaria máxima del cuerpo, ya que coexisten, en el mismo cuerpo de prueba, puntos que se comportan como plásticos y otros como elásticos (mientras más largo es el cuerpo de prueba, mayor es el número de estos últimos). Dicho de otra forma, mientras más largo es el cuerpo de prueba, la longitud o deformación que alcanza éste, justo en el punto antes de su ruptura, es mayor, que la obtenida después de tal ruptura.

Para subsanar en parte este problema, se considera que para medir la deformación unitaria máxima real del metal (en forma aproximada), este tiene un módulo de elasticidad constante, independiente de la fuerza a que se someta. El módulo corresponde a la pendiente de la curva; si se traza una línea paralela a dicha pendiente, que pase por el punto de ruptura, se obtiene, en el eje de las abscisas, el valor de la deformación máxima unitaria.

En los gráficos obtenidos, tal paralela se trazó con línea segmentada.

El punto F de los gráficos, representa el comienzo de la zona plástica o de deformación permanente del metal. El punto M representa el esfuerzo máximo o último necesario en el instante anterior a la ruptura del material.

ANALISIS DEL GRAFICO PARA LA ALEACION JELENKO

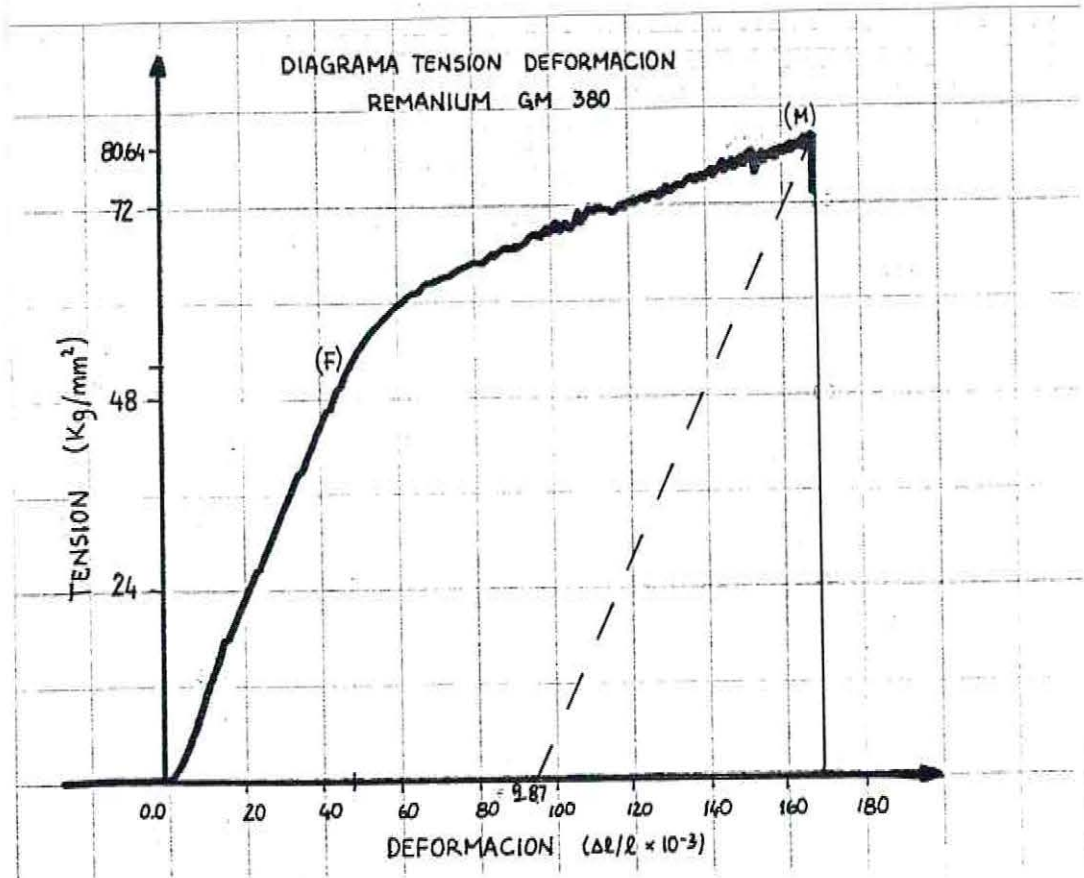


- * La zona proporcional del gráfico, corresponde aproximadamente a los puntos 68×10^{-3} (mm/mm), 60 (kg/mm^2).
- * Del esfuerzo unitario 60 (kg/mm^2) hasta el valor $69,4$ (kg/mm^2), el metal tiene un comportamiento plástico. La deformación adquirida es irreversible.
- * La deformación unitaria que sufre el cuerpo de prueba, después de la fluencia hasta fracturarse, es de 118×10^{-3} (mm/mm).

- * Ocupando la fórmula $Sc = ((Sp \times Vc)/Vp)/Li$, se obtiene que la deformación unitaria máxima aparente, es de 178×10^{-3} (mm/mm), que es mucho mayor que la real.

- * Utilizando la misma fórmula y trazando una diagonal segmentada, se obtiene el valor unitario de deformación máxima de $96,5 \times 10^{-3}$ (mm/mm), que es el valor e máximo, alcanzado por otros métodos de cálculo.

ANALISIS DEL GRAFICO PARA LA ALEACION REMANIUM GM 380



- * La zona proporcional del gráfico, corresponde aproximadamente a los puntos 48×10^{-3} (mm/mm), $52,8$ (kg/mm^2).
- * Del esfuerzo unitario, $52,8$ (kg/mm^2), hasta el valor $80,64$ (kg/mm^2), el metal tiene un comportamiento plástico. La deformación adquirida es irreversible.
- * La deformación unitaria que sufre el cuerpo de prueba, después de la fluencia hasta la fractura, es de $116,2 \times 10^{-3}$ (mm/mm).

- * Utilizando la fórmula $Sc = ((Sp \times Vc)/Vp)/Li$, se obtiene que la deformación unitaria máxima aparente es de 169×10^{-3} (mm/mm), que es mucho mayor que la real.

- * Empleando la misma fórmula y trazando una diagonal segmentada, se obtiene un valor unitario de deformación máxima de $98,7 \times 10^{-3}$ (mm/mm), que es el valor e máximo logrado por otros métodos de cálculo.

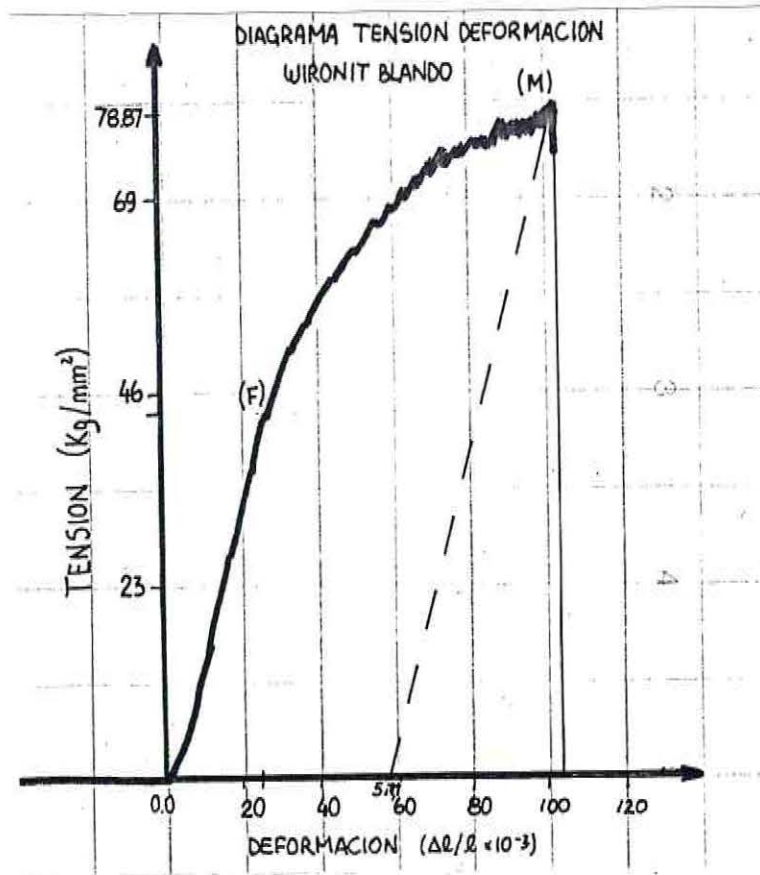


* La f...
dando

* Del s...
(kg/mm...
deform...

* La defor...
después d...
(mm/mm).

ANALISIS DEL GRAFICO PARA LA ALEACION WIRONIT BLANDO

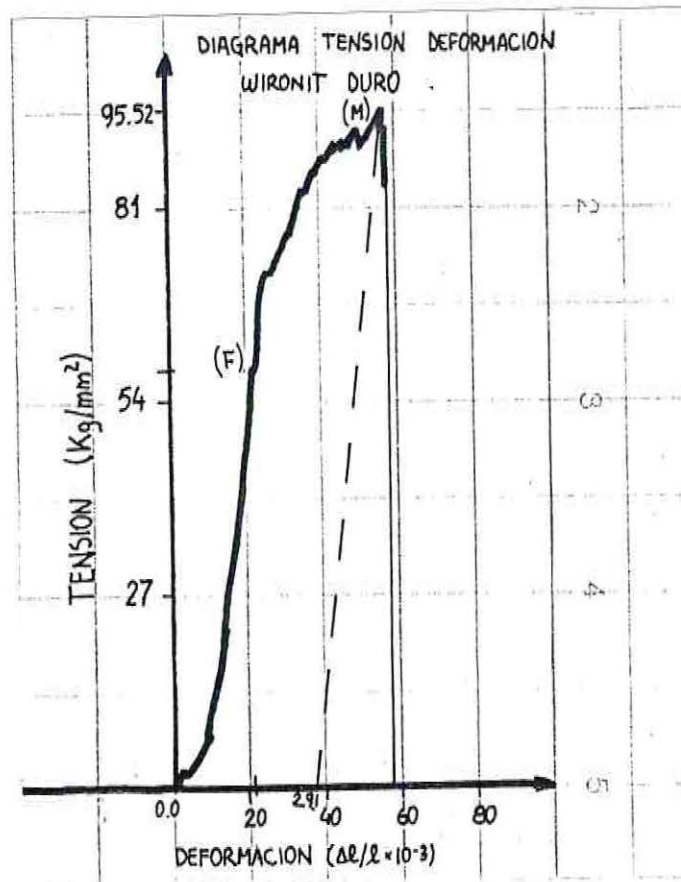


- * La zona proporcional del gráfico, corresponde aproximadamente a los puntos 24×10^{-3} (mm/mm), $43,7$ (kg/mm^2).
- * Del esfuerzo unitario $43,7$ (kg/mm^2) hasta el valor $78,87$ (kg/mm^2), el metal tiene un comportamiento plástico. La deformación adquirida es irreversible.
- * La deformación unitaria que sufre el cuerpo de prueba, después de la fluencia hasta fracturarse, es de 80×10^{-3} (mm/mm).

- * Utilizando la fórmula $Sc = ((Sp \times Vc)/Vp)/Li$, se obtiene que la deformación unitaria máxima aparente es de 104×10^{-3} (mm/mm), que es mucho mayor que la real.

- * Empleando la misma fórmula y trazando una diagonal segmentada, se obtiene el valor unitario de deformación máxima de $57,1 \times 10^{-3}$ (mm/mm), que es el valor e máximo logrado por otros métodos de cálculo.

ANALISIS DEL GRAFICO PARA LA ALEACION WIRONIT DURO



- * La zona proporcional del gráfico, corresponde aproximadamente a los puntos 22×10^{-3} (mm/mm), $58,64$ (kg/mm^2).
- * Del esfuerzo unitario $58,64$ (kg/mm^2) hasta el valor $95,52$ (kg/mm^2), el metal tiene un comportamiento plástico. La deformación adquirida es irreversible.
- * La deformación unitaria que sufre el cuerpo de prueba, después de la fluencia hasta fracturarse, es de 16×10^{-3} (mm/mm).

- * Utilizando la fórmula $Sc = ((Sp \times Vc)/Vp)/Li$, se obtiene que la deformación unitaria máxima aparente es de 38×10^{-3} (mm/mm), que es mucho mayor que la real.
- * Empleando la misma fórmula y trazando una diagonal segmentada, se obtiene el valor unitario de deformación máxima de $29,1 \times 10^{-3}$ (mm/mm), que es el valor e máximo logrado por otros métodos de cálculo.

Resumiendo, se observa que al analizar los datos que dicen relación con la deformación unitaria sufrida por el cuerpo de prueba después de la fluencia, hasta fracturarse; se ve que los valores obtenidos son los siguientes:

ALEACION	DIFERENCIA DE e
Jelenko	118 $\times 10^{-3}$ (mm/mm)
Remanium	116,2 $\times 10^{-3}$ (mm/mm)
Wironit Blando	80,0 $\times 10^{-3}$ (mm/mm)
Wironit Duro	16,0 $\times 10^{-3}$ (mm/mm)

Estos datos demuestran fehacientemente, la razón por la cual en los distintos gráficos, el punto de fluencia (F) tiende a acercarse al punto máximo (M) y esto se traduce en dureza y ductibilidad del metal. Mientras más cerca estén los puntos F y M, menos dúctil es el metal.

2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DUREZA

Con los datos logrados en la prueba de dureza de cada uno de los metales, eliminando la primera y la última medición (por razones ya explicadas en el desarrollo del capítulo materiales y métodos 12.2), se calcula el promedio de los datos obtenidos para cada aleación. La dureza Rockwell "C" o HRC queda como sigue:

<u>ALEACION</u>		<u>DUREZA HRC</u>
Jelenko		22,75
Remanium		21,50
Wironit Blando		33,25
Wironit Duro		33,50

Para hacer la conversión al sistema Vickers, se extrapola, tomando datos límites, como los que se explican a continuación:

<u>DUREZA HRC</u>		<u>DUREZA VICKERS / 50 KG. CARGA HV 50</u>
Jelenko		250
Remanium		255
Wironit Blando		330
Wironit Duro		340

Mediante el cálculo matemático que relaciona ambos métodos de medición de dureza, se obtiene:

ALEACION	DUREZA HRC	DUREZA HV/50
Jelenko	22,75	252,7
Remanium	21,50	238,9
Wironit Blando	33,25	329,5
Wironit Duro	33,50	331,1

Estos datos reunidos, se relacionan con la ductibilidad. Por lo general, los materiales más duros son menos dúctiles.

ALEACION	DUREZA HRC	DUREZA HV/50	DUCTIBILIDAD %
Jelenko	22,75	252,7	9,651
Remanium	21,50	238,9	9,872
Wironit Blando	33,25	329,5	5,718
Wironit Duro	33,50	331,1	2,915

Por lo tanto la aleación más dúctil es la Remanium GM-380 y la menos dúctil es la Wironit Duro.

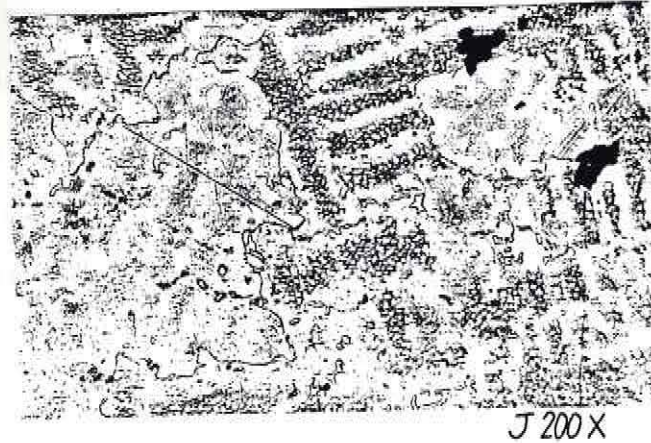
3. ANALISIS MICROSCOPICO ESTRUCTURAL

Como ya se explicó en el capítulo de materiales y métodos (12.3), no a todas las aleaciones se les fotografió su estructura, ya sea porque no había una composición granular definida o porque en la superficie tratada, no se diferenciaban bien, los granos de las rayas o trozos de pulido. En todo caso, de este análisis se trató de obtener la mayor cantidad de información posible.

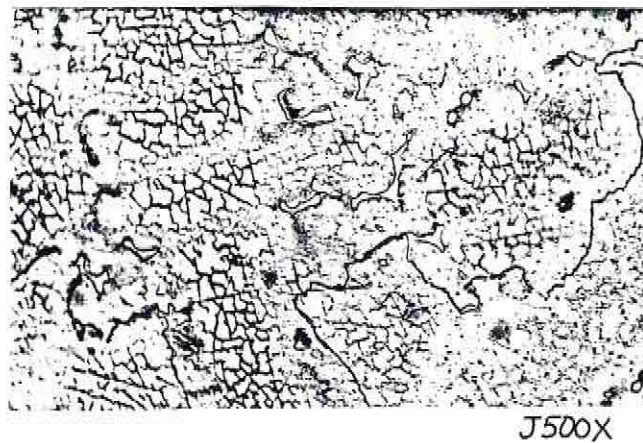
Dado que todas las aleaciones analizadas, poseen en su composición, principalmente Co, Cr y Mo, el comportamiento granular es muy similar y más que un examen diferencial de aleaciones, se transforma en un análisis estructural de un metal genérico o representativo de las aleaciones de Cr-Co.

A continuación se procederá a describir cada una de las fotografías obtenidas.

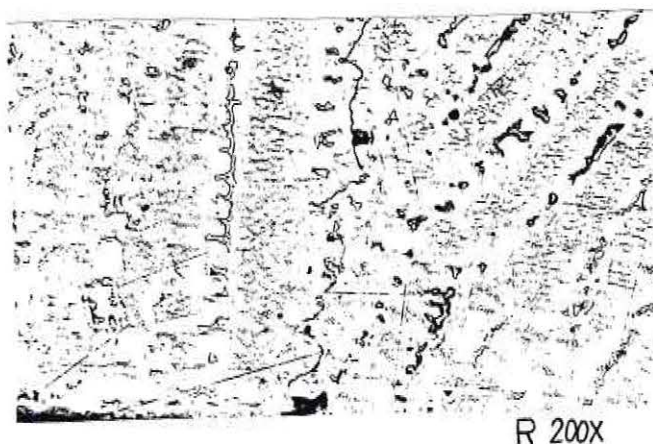
La primera fotografía muestra la composición granular de la aleación Jelenko, con un aumento de 200 x. Las líneas que se observan irregulares y con interdigitaciones que cruzan a través del campo de visión, corresponden a los límites de cada grano; las manchas negras que se aprecian, son microporos del colado.



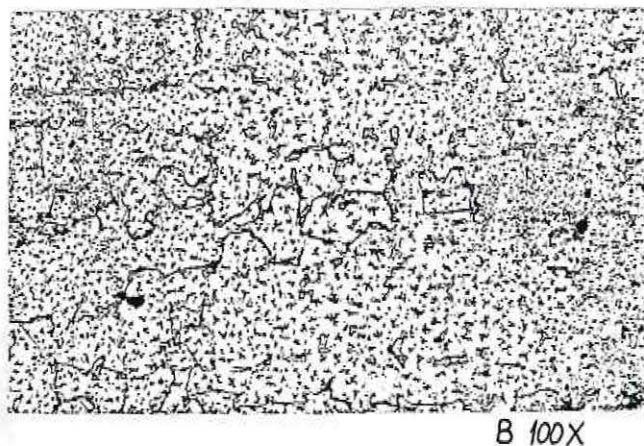
En forma similar, observando la misma aleación Jelenko, sólo que esta vez con un aumento de 500 x, se visualiza una malla tupida, que corresponde a trazas de carburo, incorporados durante la fundición, por descomposición del carbono presente en la composición de la aleación, como se muestra en la siguiente foto:



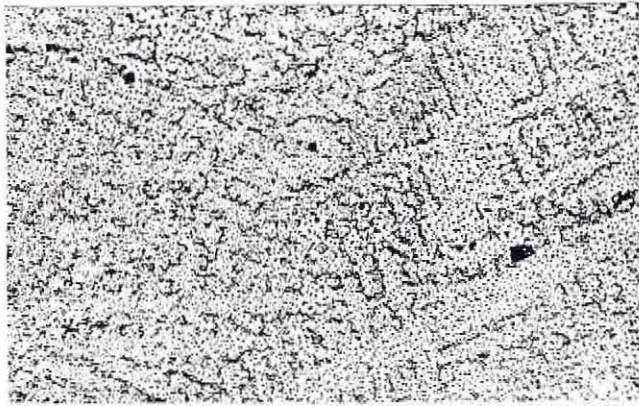
En la tercera foto, se muestra la aleación Remanium GM 380 con un aumento de 200 x, se observan claramente una serie de estructuras como vacuolas, que corresponden a restos de carburos que han pasado a constituir subgranos o segregaciones formando un cuerpo con la aleación misma. Estas segregaciones origina, durante la tensión del metal, puntos iniciales de fractura o puntos cutécticos.



En la cuarta foto, se presenta la aleación Wironit Blando, con un aumento de 100 x, se aprecia un grano en forma de cuña. El interés de tal foto radica fundamentalmente en que a partir de esa estructura comienza a producirse la matriz de solidificación del metal (núcleo de cristalización).



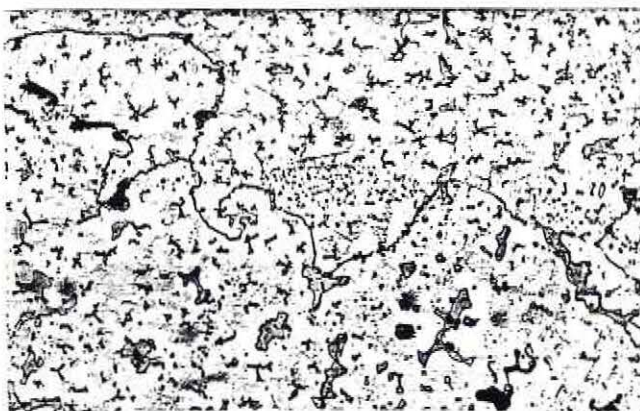
La quinta aleación corresponde a la aleación Wironit Duro, con un aumento de 50 x, muestra una compacta disposición granular; prácticamente no se observan granos de la aleación, sino una abundante cantidad de trazas de carburo formando segregados (vacuolas).



D 50X



Sin embargo, al realizar la observación con un aumento de 500 x, se hace evidente la presencia de los granos que conforman la aleación Wironit Duro. El campo de observación está siendo cruzado longitudinalmente por el límite entre los granos. Tal vez lo compacto de la aleación sea lo que le confiere mayor dureza.



D 500X

4. CALCULO DE LA DENSIDAD DE LAS ALEACIONES

Tal y como se explicó en el punto 12.4, del capítulo de materiales y métodos, utilizando los valores obtenidos y la relación matemática para determinar la densidad en gr/cc, se llegó a los siguientes valores:

ALEACION	PESO	VOLUMEN	DENSIDAD
	(en gr)	en cc.	gr/cc
Jelenko	6,0	1,385	8,31
Remanium	6,0	1,378	8,27
Wironit Blando	6,1	1,360	8,30
Wironit Duro	6,4	1,289	8,25

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

CONCLUSIONES

1. En general, las aleaciones más conocidas de Cr-Co, se caracterizan por tener en su composición, en orden decreciente, Co (+63%), Cr(+30%), Mo(+50%). En rigor deberían llamarse, aleaciones de Co-Cr.
2. En el análisis nominal de la composición química de las aleaciones de Co-Cr, no siempre la suma del porcentaje en peso de los componentes es de 100%. Esto se debe a que hay una cantidad pequeñísima de elementos que conforman la aleación y que le dan su "característica propia".
3. El sistema de fundido por inducción, ofrece ventajas notables en comparación al sistema de fundido por oxígeno-acetileno.

En concreto, con el sistema de inducción, se puede controlar en forma precisa la temperatura de fusión y el momento exacto para el colado. En el sistema por soplete estas variables no son tan controlables.

Otra diferencia notable es en lo que dice relación con la incorporación de elementos oxidantes y contaminantes a la aleación (oxígeno y carburos). Esto ocurre con la fundición que emplea oxígeno-acetileno, no así con el método de inducción.

4. No todos los ensayos factibles de hacer a un material, se deben considerar de igual importancia. Algunos entregan gran cantidad de información y otros sólo información anexa.
5. En el proceso de obtención del colado, siguiendo estrictamente lo propuesto por la A.D.A. (en relación a cámaras de alimentación), no es factible de conseguir el cuerpo de prueba, ya que invariablemente, el investimento se fractura. De hecho, hay autores que indican variaciones con respecto a lo preconizado por la A.D.A. para obtener probetas de ensayo. El sistema propuesto por la A.D.A. es poco eficiente.
6. Hoy en día las normas utilizadas para confeccionar el cuerpo de prueba como también para realizar los ensayos, son las normas DIN 13912 y las especificaciones entregadas por el fabricante se obtienen bajo estas normas y no por las de la A.D.A.
7. Los cuerpos de prueba que se utilizan actualmente, no deben tener vástagos útiles, de longitud mayor que diez veces el diámetro de los mismos (Normas DIN 13912, utilizadas por todos los fabricantes de aleaciones).
8. Sólo la aleación Jelenko, de todas las probadas, no cumple con lo mínimo exigido por las normas DIN en lo referente a esfuerzo de fluencia y de ruptura.

9. Todos los valores de ductilidad, son mayores que lo que preconiza el fabricante. Esto se debe a que la longitud del cuerpo de prueba es muy grande en relación al diámetro del mismo.
10. Las curvas obtenidas representan, si bien no en la exactitud de los datos, el comportamiento de las distintas aleaciones probadas.
11. En nuestro medio, estamos capacitados para realizar investigación, siempre y cuando se cuente con el apoyo tecnológico y financiero.

COMENTARIOS

1. Es indispensable continuar con el estudio de la aleación de Co-Cr, con el objeto de ampliar el horizonte de conocimiento referente a la aleación.
2. Existe la necesidad de realizar nuevos estudios teóricos y prácticos que suplan las potencias existentes en cuanto al conocimiento de las aleaciones de Co-Cr.
3. Es muy necesario, y de ese modo se justificaría nuestra investigación, de que se realicen estudios, esta vez sobre el metal que realmente se utiliza en la confección de bases metálicos protésicas.

SUGERENCIAS



Si se desea hacer trabajos futuros con la aleación de Co-Cr, se sugiere:

1. Conocer el monto del gasto económico que implica.
2. Ubicar los elementos técnicos necesarios.
3. Utilizar el diseño del modelo de cera empleado en este trabajo para obtener el cuerpo de prueba.
4. Una vez que se consigue el cuerpo de prueba, éste debe de rectificarse, al menos en la zona del vástago central para obtener un vástago de sección transversal constante.
5. Regirse estrictamente por las normas e indicaciones proporcionadas por el fabricante.

A N E X O S

UNIVERSIDAD
FACULTAD
ESPECIAL
V. A. S. P.

ANEXOS

1. CARTA DE PRESENTACION

Para poder realizar una encuesta formal, se escribió una carta de presentación, dirigida al jefe de laboratorio.

Esta carta tenía como objetivo dar a conocer quienes realizaban el trabajo y bajo qué auspicio.



UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
FACULTAD DE ODONTOLOGIA
ESCUELA DE ODONTOLOGIA
V A L P A R A I S O

Señor
Jefe de Laboratorio
PRESENTE


De mi consideración :

Tengo el agrado de presentar a Ud. a los Internos de Odontología, Srta. Paulina San Pedro y Sr. Gustavo Torrealba, quienes se encuentran realizando su Seminario de Te^usis sobre las propiedades físicas, mecánicas y químicas de alea^uciones de Cr. Co. de mayor uso en nuestro medio.

Ruego a Ud. dar la mayor información y ayuda en la encuesta que ellos realizarán, a objeto de que puedan llevar a feliz término su Seminario, actividad que les es impres^ucindible para la obtención de su Título.

Agradeciendo desde ya la colaboración pres^utada, le saluda atentamente,




~~Prof. Dr. Jorge Retter Puelma~~
Profesor Adjunto y
Profesor Guía de Seminario
Facultad de Odontología

JRP/ggc.

2. ENCUESTA

La encuesta que se realizó constaba de siete preguntas. En las preguntas N^os. 2, 3 y 7 se repitió el mismo contenido, para comprobar sin tanto error, cuáles eran las aleaciones de mejor calidad.

ENCUESTA:

1. ¿Cuántas bases metálicas se realizan al año?
(en su laboratorio)
2. Aleaciones utilizadas en prótesis removible.
 - diferentes tipos
 - ¿cuál es la mejor?
3. ¿Qué marcas de aleaciones recomienda?
4. Marcas o tipos de investimento utilizados.
5. Tipo de fusión utilizada.
6. Principales fallas de las bases metálicas.
7. Aleaciones
 - la de mejor calidad.
 - la de peor calidad.
 - la más utilizada.

3. ANALISIS DE LA ENCUESTA

Antes de proceder al análisis de la encuesta, hay que determinar el universo total de laboratorios consultados; estos fueron 20, distribuidos de la siguientes manera:

	RESPONDIERON			
	TODO LO	RESPONDIERON	NO	
	SOLICITADO	PARCIALMENTE	RESPONDIERON	TOTAL
V REGION	3	2	3	8
AREA METROPOLITANA	4	5	3	12
TOTAL	7	7	6	20

Dado que de los 20 laboratorios consultados, 6 no respondieron, entonces nuestro universo queda reducido a 14, tomando los 7 laboratorios que contestaron todo lo solicitado y los 7 que respondieron parcialmente.

	RESPONDIERON			
	TODO LO	RESPONDIERON		
	SOLICITADO	PARCIALMENTE	TOTAL	
V REGION	3	2	3	
AREA METROPOLITANA	4	5	3	
TOTAL	7	7	6	

3.1. PREGUNTA NUMERO 1:

NUMERO DE BASES METALICAS REALIZADAS POR AÑO.

Frente a esta pregunta, sólo 6 laboratorios respondieron. Dos de la V Región y cuatro del Area Metropolitana.

	RESPONDIERON	PROMEDIO BASES/ANO
V REGION	2	1 230
AREA METROPOLITANA	4	1 875
TOTAL	6	1 553

3.2. PREGUNTAS NUMEROS 2, 3 Y 7:

RELACION CON LA MEJOR ALEACION Y LA MAS USADA.

ALEACION	LA MEJOR / %	LA MAS USADA /%
Remanium GM 380	14 / 100	14/ 100
Dentorium	14 / 100	14/ 100
Jelenko	14 / 100	12/ 85,7
Wironit Duro	14 / 100	12/ 85,7
Remanium G-FH	12 / 85,7	10/ 71,4
Krupp	12 / 85,7	10/ 71,4
Wirocast	11 / 85,7	10/ 71,4
Biosil	11 / 78,6	3/ 21,4
Wironit Blando	9 / 64,3	3/ 21,4
Wironium	6 / 42,9	1/ 7,1
Vitalium	6 / 42,9	0/ 0
Remanium GW	5 / 35,6	0/ 0
Cromo Dur	1 / 7,1	0/ 0
Niriamium	1 / 7,1	0/ 0
Dentillium	1 / 7,1	0/ 0

Se consideró a las aleaciones de mayor uso, las que como mínimo fueron nombradas 3 veces; es decir sobre el 20% de los laboratorios consultados.

A la pregunta respecto a la aleación de más baja calidad, la respuesta obtenida, fue de un solo nombre comercial, en el resto de los casos se habló únicamente de procedencia.

ALEACION DE MAS BAJA CALIDAD O PROCEDENCIA	NUMERO DE LABORATORISTAS QUE LA NOMBRARON
Dentaurum (lágrima)	12
Brasilera	13
Argentina	14

Al referirse a lágrima, se explica que es la aleación de deshecho. Durante el proceso de fundición hay "gotas" o "lágrimas" que se escapan (al molde de la aleación) y caen al suelo y por lo tanto, se contaminan. Sin embargo, la fábrica las vende como aleación de Cr-Co; lamentablemente son utilizadas por algunos laboratoristas.

3.3. PREGUNTA NUMERO 4:

MARCAS DE INVESTIMENTO O TIPOS DE INVESTIMENTO.

Los mismos 6 laboratoristas que dieron información acerca del número de prótesis realizadas, respondieron

también a esta pregunta. A saber, 2 de la V Región y 4 del Area Metropolitana.

Los 6 lo fabrican y también compran alguna marca comercial ya preparada.

	INVESTIMENTOS		
	FABRICADO EN		
	EL LABORATORIO	DENTAURUM	WIROVEST
V REGION	2	0	2
AREA METROPOLITANA	4	2	3
TOTAL	6	2	5

Nota: En Santiago, un laboratorista, compra el revestimiento de la casa Dentaurem como el Wirovest de la casa Bego.

Nota: Del revestimiento de la casa Dentaurem se utilizó indistintamente el tipo Rema Exakt o el Rema Star.

3.4. PREGUNTA NUMERO 5:

TIPO DE FUSION EMPLEADA.

Esta vez, los 14 laboratoristas dieron respuesta a la pregunta.

Los resultados se entregan en las siguientes tablas:

LABORATORISTAS			
SISTEMA DE FUNDIDO	QUE LO POSEEN	V REGION	A. METROPOLITANA
Soplete oxígeno-acetileno	14	5	9
Por inducción	6	2	4
Crisol eléctrico	2	0	1
Soplete hidrógeno-acetileno	1	0	1

LABORATORISTAS			
SISTEMA DE FUNDIDO	QUE LO POSEEN	V REGION	A. METROPOLITANA
Soplete oxígeno-acetileno	8	3	5
Por inducción	6	2	4

3.5. PREGUNTA NUMERO 6:

PRINCIPALES FALLAS DE LAS BASES METALICAS.

En este punto, también los laboratoristas hicieron su aporte.

FALLAS	V REGION	A.METROPOLITANA	TOTAL
Fractura inespecífica	5	9	14
Colado	5	9	14
Fractura de retenedores	5	8	13
Fragilidad por fundido	4	6	10
Desajustes	2	7	9
Porosidades	3	4	7

4. INFORMACION ANEXA DE ALGUNAS ALEACIONES

De las 15 aleaciones nombradas por los laboratoristas, deducidas de la encuesta, sólo 9 se reconocieron como las de mayor uso.

Para estas 9 aleaciones, en dos casos, no fue posible conseguir más, que la composición química (Jelenko, Krupp).

En el análisis siguiente, no se da la composición química, ni el peso de cada cubo de aleación, ya que estos datos están determinados en el capítulo de materiales y métodos.

En primer lugar se darán algunos valores mínimos aceptados, según las normas DIN 13912, para aleaciones de cromo-cobalto.

	VALORES MINIMOS	NORMAS DIN
LIMITE DILATACION 0,2%	500 N/mm ²	51,0 kg/mm ²
RESISTENCIA A LA TRACCION	750 N/mm ²	76,5 kg/mm ²
DUREZA HV 10 (10 kg)	420 N/mm ²	42,8 kg/mm ²
DILATACION DE ROTURA	3%	

4.1. DATOS TECNICOS DE LA ALEACION REMANIUM GM-380

Límite dilatación 0,2%	625 N/mm ²	63,7 kg/mm ²
Resistencia a la tracción	900 N/mm ²	91,6 kg/mm ²
Dureza HV 10	420 N/mm ²	42,7 kg/mm ²
Dilatación de rotura	4,5%	4,5%
Módulo de elasticidad	225000	22959,2 kg/mm ²
Peso específico	8,2	8,2
Punto líquido de fusión	1370°C	1370°C

4.2. DATOS TECNICOS DE LA ALEACION WIRONIT DURO

Límite de elongación (Rp 0,2)	625 N/mm ²	63,77 kg/mm ²
Resistencia a la tracción (Rm)	910 N/mm ²	92,9 kg/mm ²
Dureza Vickers (Hv 10)	375 N/mm ²	38,3 kg/mm ²
Alargamiento de rotura	4,1%	4,1%
Módulo de elasticidad	225000 N/mm ²	22959,2 kg/mm ²
Intervalo de fusión	1305-1360°C	1305-1360°C
Densidad	8,2 gr/cc	8,2 gr/cc
Temperatura de colado	1420°C	1420°C

4.3. DATOS TECNICOS DE LA ALEACION REMANIUM G-FH

Límite dilatación	595 N/mm ²	60,7 kg/mm ²
Resistencia a la tracción	850 N/mm ²	86,7 kg/mm ²
Dureza HV 10	390 N/mm ²	39,8 kg/mm ²
Dilatación de rotura	6,5%	6,5%
Módulo de elasticidad	215000 N/mm ²	21938,8 kg/mm ²
Peso específico	8,2	8,2
Punto líquido de fusión	1370°C	1370°C

4.4. DATOS TECNICOS DE LA ALEACION WIROCAST

Límite de elongación (Rp 0,2)	590 N/mm ²	60,2 kg/mm ²
Resistencia a la tracción (Rm)	860 N/mm ²	87,8 kg/mm ²
Dureza Vickers (Hv 10)	330 N/mm ²	33,7 kg/mm ²
Alargamiento de rotura (A 5)	7%	7%
Módulo de elasticidad	210000 N/mm ²	21428,6 kg/mm ²
Intervalo de fusión	1350-1280°C	1350-1280°C
Densidad	8,2 gr/cc	8,2 gr/cc
Temperatura de colado	1460°C	1460°C

4.5. DATOS TECNICOS DE LA ALEACION BIOSIL

Límite de dilatación (0,2%)	557 N/mm ²	56,8 kg/mm ²
Resistencia a la tracción	640-900 N/mm ²	66,3-91,8 kg/mm ²
Dureza Brinell W	285 hb a=315 hb	39,8 kg/mm ²
Alargamiento de rotura	9, %	9%
Módulo de elasticidad	220800 N/mm ²	22530,6 kg/mm ²
Punto de fusión	1380°C	1380°C
Coeficiente térmico de dilatación	700°C 15,4x10 ⁻⁶ /°C	15,4x10 ⁻⁶ /°C
	1000°C 17,4x10 ⁻⁶ /°C	17,4x10 ⁻⁶ /°C
Densidad	8,4 gr/cc	8,4 gr/cc

4.6. DATOS TECNICOS DE LA ALEACION WIRONIT BLANDO

Límite de elongación (Rp 0,2)	600 N/mm ²	61,2 kg/mm ²
Resistencia a la tracción (Rm)	800 N/mm ²	89,8 kg/mm ²
Dureza Vickers (Hv 10)	350 N/mm ²	35,7 kg/mm ²
Alargamiento rotura (As)	6,2%	6,2%
Módulo de elasticidad	211000 N/mm ²	21530,6 kg/mm ²
Intervalo de fusión	1350-1320°C	1350-1320°C
Densidad	8,2%	8,2%
Temperatura de colado	1460°C	1460°C

BIBLIOGRAFIA

1. CE
2. AUG
3. ARAN

BIBLIOGRAFIA

1. ANDERSON: MATERIALES DE APLICACION DENTAL, J.F. Mc CABE, cap. 2,5,6,8, 1988.
2. APARATOS Y MATERIALES, BOLETIN INFORMATIVO BEGO, 1982.
3. ASGAR K. AND ALLAN F.C. MICROSTRUCTURE AND PHYSICAL PROPERTIES OF ALLOYS OF PARTIAL DENTURE CASTINGS, J. DENT. RES., Vol. 47, p.189-197, 1968.
4. ASGAR K. AND DEYTON FA: EFFECT OF MICROSTRUCTURE ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF COBALT-BASE ALLOYS, J. DENT RES 40:63, 1961.
5. BATES J.F. AND KNAPTON A.G. METALS AND ALLOYS IN DENTISTRY REV 215, p#ag. 39-56, 1977.
6. BOLETIN INFORMATIVO DEGUSSA (MD-242-2-3), 1985.
7. CARTER TJ AND KIDD JN: THE PRECISION CASTING OF COBALT-CHROMIUM ALLOY BR. DENT J. 118:383 Y 431, 1965.
8. CELSO QUIRINO DOS SANTOS, - CONTRIBUCAO AO ESTUDO DE ALGUMAS PROPIEDADES DA LIGA DE PRATA - PALADIO. ARARAQUARA - SAO PAULO - BRASIL - 28-36, 1967.

9. DREYER, KURT VON - METALLORGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN AN LOTEN UND LOTNAHTEN BEI CR-CO LEGIERUNGEN, ZAHNARZTL. ROSCH. N° 30, 1294-1300, 1935.
10. EARNSHAW RG: THE CASTING SHRINKAGE OF CO-CR ALLOYS AUST DENT J. 3: 159, 1958.
11. FITZERGAALD J.: RESISTENCIA DE LOS MATERIALES, Cap. 2-13, 1975.
12. FLOYD A. PEYTON: ALEACIONES DE METALES BAJOS, Cap. 3,9, 1963.
13. HAFNER, J. & VOLTERRA, R, METAL HANDBOOK, 8th Ed. NOVELTY, AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1961, V. 1, p. 1193-1195.
14. HANSEN, M & ANDERKO, K. CONSTITUTION OF BINARY ALLOYS. 2nd. ed. NEW YORK, MCGRAW-HILL, 1958, p. 41.42.
15. INFORMATION BEGO, Enero 1977.
16. MACCHI R.: MATERIALES DENTALES, Cap. 1, 2, 3, 4, 1978.
17. METALLOGRAPHY AND MICROSTRUCTURES, Vol. 9, Pág. 127, 139, 256, 315. 9 ed, 1985.
18. MORRIS H.R. AND ASGAR K. J. PROSTH. DENT., Cap. 33, Pág. 36-37, 1975.

19. MUELLER, HERBERT: TARNISH AND CORROSION OF DENTAL ALLOYS, Pág. 1336-1366, 1984.
20. O'BRIEN, W.Y. & NIELSEN, J.P. - DECOMPOSITION OF GYPSUM INVESTMENT IN THE PRESENCE OF CARBON. J. DENT. Res. 38:541-547, 1959.
21. ODONTOTECNICA PROTESIS, BOLETIN INFORMATIVO DENTAURUM, Pág. 2-25, 54-65, 90-111, 1983.
22. RESUMEE BEGO, 4/85, AGOSTO 1985.
23. RESUMEE BEGO, 9/83, DICIEMBRE 1983.
24. SKINNER - LA CIENCIA DE LOS MATERIALES DENTALES, 8a Ed. México, Ed. Interamericana, Cap. 2-3-15-16-17-19-26-34, 1988.
25. SPECIFICATION OF ALLOYS; DENTOWELD WELDING RODS AL150, 1987.
26. SPECIFICATIONS OF THE A.D.A., CHAPTER V, CHAPTER II, AMERICAN DENTAL ASSOCIATION SPECIFICATION NUMBER 14, FOR DENTAL CO-CR CASTING ALLOY.





FOTO 23

Esta es la dureza Vickers, HV.

Lamentablemente no fue posible realizar la prueba, ya que el microscopio no estaba apto para ser usado.

12.2.2. MACRODUREZA

Para realizar esta prueba, era necesario preparar un trozo de metal, cuyas paredes estuvieran perfectamente paralelas entre sí. Se utilizó un trozo de la cabeza del cuerpo de prueba de cada aleación.

Por ser el cuerpo de prueba de dimensiones pequeñas (6 mm. de diámetro x 20 mm. de longitud), fue necesario recurrir a una cortadora de precisión, con

disco de bordes diamantados y mordaza especial para muestras pequeñas como se observa en la foto N° 24. De este modo puso realizarse cortes totalmente paralelos.

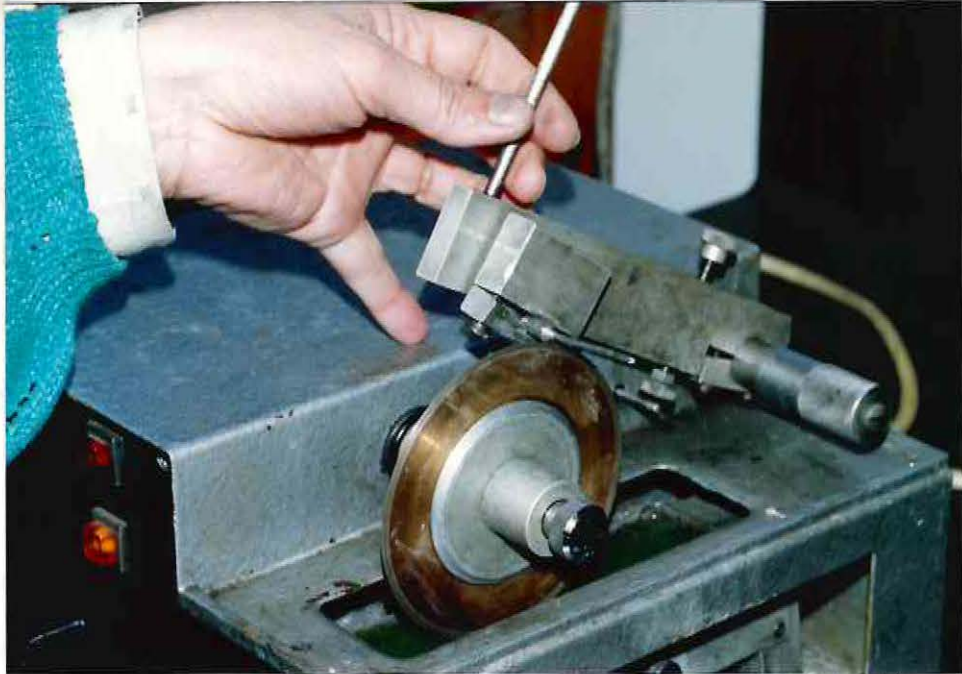


FOTO 24 (25)

Para no introducir modificaciones en la estructura del metal por la temperatura generada durante el corte, se refrigeró el disco y el metal con un aceite verdoso, soluble en agua, ubicado en un recipiente bajo el disco, como muestra la foto N° 25.



FOTO 26

El corte se logra con una velocidad regulada a 70 rpm y en un tiempo de 45 minutos. Al ser cuatro los cuerpos de prueba y ocho los cortes a realizar, el proceso tomó un tiempo aproximado de 8 hrs.

La máquina empleada (ver foto N° 26) es de marca Isomet, fabricada por la casa Buehler Ltd. de Illinois, U.S.A.

Prueba de dureza propiamente tal

Los cortes paralelos se requieren para evitar componentes en el eje horizontal durante la medición de fuerza. Todas las fuerzas deben ser aplicadas en dirección vertical y las reacciones deben tener también igual dirección. En caso contrario la lectura de la dureza será falseada.

Para realizar las mediciones, se utilizó un durómetro marca Wilson, de procedencia norteamericana. Este consta de una punta superior de acero-tungsteno, con un pequeño movimiento axial, que al ser presionada sube, permitiendo a un reloj marcar las unidades de dureza, mediante un sistema de engranajes.

El cuerpo de prueba se ubica en la plataforma de la base, como se muestra en la foto N° 27, la cual se aproxima a la punta de medición mediante un sistema de rosca. Cuando la punta superior toca la superficie del

metal, las palancas que rodean la zona más inferior de la base extensible, se comienza a rotar, hasta que en el reloj indicador, la aguja alcance el cero.

Estabilizada la aguja en el valor cero (o inicial) se suelta el sistema, por medio de una manija ubicada en la zona lateral inferior de la máquina; entonces se observa el reloj y el valor dado por la aguja hasta que se estabiliza nuevamente. Este último valor indica la dureza del metal en el Sistema Rockwell C o HRC.

Para cada aleación se hicieron seis mediciones y luego se calculó el promedio. Por lo general se desechan el primer y el último valor; el primero, por el "ajuste" que tiene la máquina (movimiento de acomodo del metal); y el último, porque generalmente luego de cinco mediciones ya en la superficie del metal, hay muchas improntas, que alteran su estructura superficial, dando valores más pequeños que lo real.

En la tabla siguiente se muestran los datos obtenidos que son adimensionales.

	HRC	HRC	HRC	HRC
MEDICION	JELENKO	REMANIUM	WIRONIT B	WIRONIT D
1	36	35	35	36
2	24	23	34	35
3	23	24	35	34
4	24	20	32	33
5	20	19	32	32
6	15	10	29	27

12.3. PRUEBA DE MICROESTRUCTURA

Para realizar la observación de la estructura granular de los cuerpos de prueba, éstos deben estar perfectamente pulidos y atacados en su superficie, por algún reactivo que permita la eliminación parcial de alguno de los componentes de la aleación; de este modo se puede observar la estructura, por "diferencia de niveles" en la capa superficial.

Para llegar a obtener el cuerpo de prueba a observar, se deben seguir varios pasos secuenciales.

El primero, consiste en preparar el cuerpo de prueba que posteriormente será analizado; para ello el metal debe ir empotrado en una base de baquelita; esto se logra con una máquina marca Simplimet II fabricada por la casa Buehler Ltd. de U.S.A., mostrada en la foto N° 28; en la zona superior (en el tubo hueco) se introduce la aleación (que es la misma empleada para medir dureza, sólo que esta vez se utiliza la cara que no tenía identificaciones) con su cara lisa hacia abajo y bien centrada.



FOTO 27



FOTO 28

Posteriormente se agrega, sobre la aleación, la baquelita negra en gránulos. Sobre el tubo se atornilla un retén (que en la foto N° 28 se ve al lado del tubo superior) y con una palanca lateral, se comienza a ejercer presión interna para comprimir la baquelita. Se le proporciona calor al sistema para que funda la baquelita para lo cual se mantiene durante 47 minutos una temperatura de 135°C con una presión de 6.500 libras.

Pasado ese tiempo, se suspende la temperatura y cuando se ha llegado a los 60°C o menos, se suspende la

presión y se retira el cuerpo que está superficialmente inserto en la baquelita. El mismo proceso se repite para cada aleación. En la foto N° 29 se muestra el resultado obtenido con dos aleaciones.

El segundo paso a seguir, es pulir la superficie del metal hasta dejarlo especular; así al observarlo al microscopio, no se verían marcas superficiales que podrían alterar la observación y su posterior interpretación.

En una primera etapa se pule con lija, desde la más gruesa a la más fina, teniendo la precaución de ubicarla (junto con el cuerpo) sobre una superficie lisa para obtener un desgaste completamente plano.

La segunda etapa del pulido se realiza con una máquina de platos rotatorios, en cuya superficie hay felpas, a las que se les adiociona alúmina con la cual se elimina toda marca superficial que aun quedara en el metal. La máquina se presenta en la foto N° 30 y es de la casa Buehler Ltda., de U.S.A. (Metallurgical Apparatus).



FOTO
30

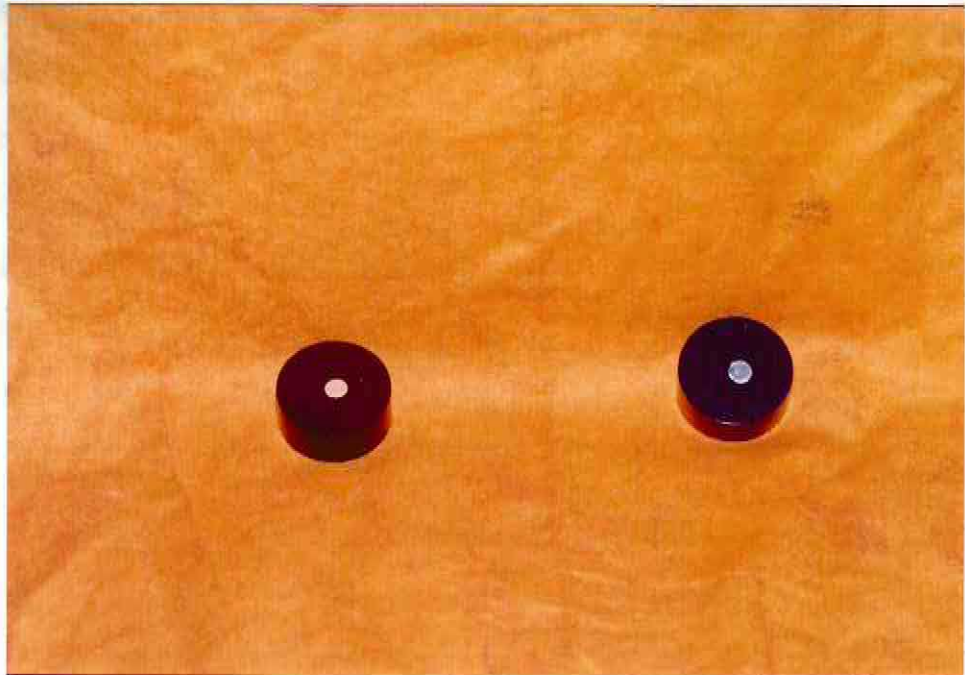


FOTO 29

Cada uno de los platos rotatorios corresponde a un diámetro de partículas de alúmina. Al pasar de un plato a otro se debe lavar el cuerpo, para no contaminar las felpas con albúmina de partículas más grandes. La secuencia del diámetro de partículas de albúmina que se utilizó fue el siguiente: 0,5 , 0,05 y 0,01 .

El tercer paso a seguir corresponde al uso del reactivo superficial para lograr la erosión (atacando a un elemento constituyente de la aleación), según ya se explicó. En este caso se usó 20 cc. de HCl al 36% con 1 cc de agua oxigenada, que ataca al cromo.

Después de este tratamiento al cuerpo de prueba, se debía tener la precaución de no tocarlo, ni de



arrastrarlo contra otra superficie, para llevarlo en óptimas condiciones a su último paso, la observación microscópica. Para tal efecto, se utilizó un microscopio marca Leitz Wetzlar, de fabricación alemana, especial para observación metalográfica, ya que el metal no es transparente, el sistema de iluminación se obtiene por reflexión de un haz de luz sobre el metal; dicho haz sale a través del mismo objetivo óptico.

En la foto N° 31 se muestra el microscopio y los generadores.

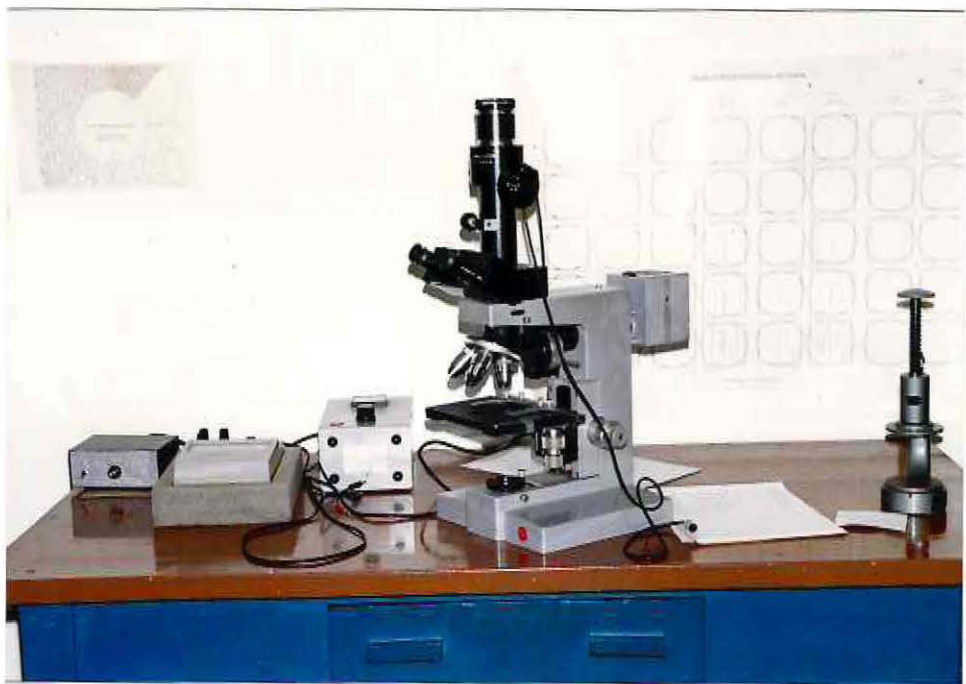


FOTO 31

El microscopio es biocular y en la zona superior tiene un tubo extensor para adicionarle una cámara fotográfica Leica. Los objetivos utilizados fueron 50x, 100x, 200x y 500x (aumentos). De todas las aleaciones

observadas, con el orden recién mencionado, sólo se fotografiaron aquellos casos que resultaban de interés para analizar.

Sobre el portaobjetos, se instala la preparación, previamente adherida a la baquelita; esta última, a su vez, se adhiere con plasticina a un trozo de metal rectangular. Para que la superficie del metal (de la preparación) quede paralela a la mesa del microscopio, el sistema baquelita-plasticina-base metálica, se presiona con una prensa que se aprecia al lado derecho del microscopio, en la foto N° 31. La cara superior de la prensa cuenta con una felpa, para no dejar marcas sobre la superficie del metal.

Finalmente se procede a la observación de cada uno de los metales, partiendo con el aumento 50x para terminar con el 500x.

12.4. MEDICION DE LA DENSIDAD DE LAS ALEACIONES

Mediante un sencillo procedimiento y como anexo, para obtener mayor cantidad de información, se procedió a pesar cada cubo de aleación; luego en una probeta de agua graduada, se midió el volumen de agua desplazada al introducir cada uno de los cubos. Con estos datos y la fórmula $D:M/V$, donde D es la densidad en gr/cc, M es la masa en gr y V el volumen en cc de agua desplazada, que corresponde al volumen del cubo de la aleación, se hizo el cálculo de la densidad.