

2 881202
24

UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



ANALISIS DEL PROCESO DE FABRICACION DE IMPLANTES ORTOPEDICOS

TESIS CON
FALLA DE ORDEN

T E S I S

QUE PARA PRESENTAR EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
PRESENTA EL ALUMNO

CARLOS JAVIER ALDAPA MIRANDA

MEXICO, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
I.- INTRODUCCION.	
1.1 Justificación.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Alcances.....	3
II.- BASES TEORICAS.	
2.1 Análisis Metalúrgico.....	4
2.1.1 Introducción.....	4
2.1.2 Diagramas de Equilibrio de las Aleaciones...	5
2.1.2.1 Líquidos y Sólidos de las Aleaciones Binarias.....	7
2.1.2.2 Aleaciones Ternarias.....	17
2.1.3 Influencia de los Diferentes Elementos Alean tes.....	20
2.1.4 Estructuras Cristalinas Metálicas.....	24
2.1.5 Micrografía y Macrografía.....	30
2.2 Diagramas. Análisis.....	34
2.2.1 Diagrama de Equilibrio para Hierro-Carbono..	34
2.2.2 Diagrama Esfuerzo-Deformación.....	36
2.3 Aceros Inoxidable.....	41
2.3.1 Introducción.....	41
2.3.2 Estudio de Algunas Teorías y Factores que -- Afectan a la Corrosión.....	41

	<u>Página</u>
2.3.3 La Pasividad en los Fenómenos de Corrosión.....	44
2.3.4 Diagrama de los Aceros Austeníticos.....	45
2.3.5 Aceros Inoxidables Austeníticos.....	47
2.3.5.1 Principales Propiedades de los Aceros Inoxidables Austeníticos.....	47
 III.- ANALISIS DEL PROCESO PARA FABRICAR ACEROS PARA IMPLANTES.	
3.1 Descripción del Proceso.....	48
3.2 Diferentes Operaciones del Proceso.....	49
3.3 Características del Proceso y el Acero para Implantes.	51
3.4 Factores de Seguridad.....	55
 IV.- ANALISIS DEL PROCESO DE FABRICACION DEL IMPLANTES.	
4.1 Mecanizado. Trabajo en Frío.....	56
4.2 Procesos de Terminado.....	72
4.3 Superacabados. Procesos electroquímicos.....	74
4.4 Tratamiento Final. El Pasivado.....	82
4.5 Calidad de la Maquinaria y Herramiental.....	85
4.6 El Empaque.....	89
4.7 Pruebas a Implantes con diferentes superacabados.....	90
 V.- ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.	
5.1 Pruebas para el Aseguramiento de la Calidad de la Mate ria Prima.....	94
5.1.1 Composición Química.....	94
5.1.2 Proceso de Fusión y Refusión.....	95
5.1.2 Propiedades Mecánicas.....	96
5.1.4 Estructura Metalográfica.....	98
5.1.5 Estado de la Superficie.....	99

5.2 Pruebas de Aseguramiento de la Calidad del Implan- te en Proceso.....	100
5.3 Pruebas Finales Para el Aseguramiento de Calidad...	103
5.3.1 Pruebas no Destructivas.....	103
5.3.2 Pruebas Destructivas.....	110
5.3.2.1 Pruebas Mecánicas.....	112
5.3.2.2 Pruebas Químicas.....	127
5.4 Aseguramiento de la Calidad de Maquinaria y Herra- mental.....	136
 CONCLUSIONES.	 140
APENDICES	142
BIBLIOGRAFIA	146
INDICE, DIAGRAMAS, FIGURAS Y TABLAS	149

CAPITULO PRIMERO

INTRODUCCION

CAPITULO PRIMERO

INTRODUCCION

1.1 Justificación.

De la necesidad de formar industrias productivas, que proporcionen soluciones a las muchas importaciones, que el país tiene y la formación de medios de vida para los habitantes, surgió la idea de realizar el análisis para fabricar implantes ortopédicos.

Ya que la tecnología de los implantes en México, se encuentra poco desarrollada porque ha sido copiada de la europea y americana principalmente, tratando de ser implantada a las condiciones del país y no desarrollar una propia que se adapte al mismo.

Por falta de tecnología de los aceros de bajo carbono y refundidos bajo arco al vacío, la industria nacional, ha quedado dependiente de la industria extranjera.

La falta de un aseguramiento de la calidad en el producto nacional, su mercado queda reducido a un bajo nivel económico, sin asistencia social; además el bajo volumen genera un retraso en el desarrollo de la industria, por lo que es imprescindible hacer el análisis profundo del proceso.

1.2 Objetivos.

Dentro de los objetivos principales se encuentran:

El analizar el proceso para obtener el acero 316 LVR, con el cual se hacen los implantes, de manera que se haga una integración al país.

El integrar la tecnología extranjera al país o desarrollar la --- existente, para así crear una propia, implantando métodos tan o más severos que los utilizados en el extranjero y que den como resultado implantes de - excelente calidad que desplacen a los importados y además puedan competir - contra ellos en el extranjero.

Establecer un método en el aseguramiento de calidad que permita -- producir un volumen de productos aceptables en el mercado nacional y en el extranjero, para que con el volumen alcanzado, se obtenga el desarrollo de la industria nacional.

1.3 Alcances.

Dentro del análisis del proceso de fabricación de implantes es importante señalar la trascendencia de la calidad tanto de la materia prima, como la del implante en proceso y la de terminado; por lo cual, primeramente se establecerá el aseguramiento de la calidad que requiere el implante.

Se establecerán bases firmes para la creación y desarrollo de una tecnología que sea propia.

Se darán bases para continuar y desarrollar la integración nacional de un mercado floreciente con un gran potencial tanto económico como - tecnológico para explotar.

CAPITULO SEGUNDO

BASES TEORICAS

CAPITULO II

BASES TEORICAS

2.1 Análisis Metalúrgico.

2.1.1 Introducción.

La metalurgia se puede describir como la ciencia de obtener los metales y de adaptarlos para que satisfagan las necesidades humanas. Por lo cual es tan simple ver la tremenda labor que ello supone. Aunque los átomos metálicos abundan en la tierra, la mayor parte de ellos se encuentran combinados con átomos no metálicos. Es por tanto, como primer paso, el liberar a los átomos metálicos de sus combinaciones, para hacerlos utilizables.

Para asegurar el uso efectivo de los metales en miles de aplicaciones, es esencial la cooperación entre la metalurgia con otros campos del saber. La arquitectura moderna es una prueba de la interdependencia entre el diseño y los materiales de construcción, que sería difícil sobreestimar la importancia de esta interacción con la metalurgia.

2.1.2 Diagramas de equilibrio de las aleaciones.

La mayor parte de los metales puros, son en razón de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas difícilmente utilizables en la industria. La adición, voluntaria, o no, a un metal puro de uno o varios elementos, puede modificar profundamente sus propiedades; las mezclas -- así obtenidas se llaman aleaciones metálicas. Las Aleaciones pueden ser binarias, ternarias, cuaternarias; según contengan dos, tres, cuatro elementos. El número de elementos susceptibles de formar aleaciones es del orden de 80, por lo cual resulta probable formar 3000 aleaciones binarias y alrededor de 80 000 aleaciones ternarias.

Para escoger una aleación para una o varias aplicaciones precisas, se deben considerar factores importantes como:

1.- Propiedades de uso. Que están definidas principalmente por las mecánicas, que son las pruebas y ensayos a la tensión, compresión, flexión, etc. Las pruebas físicas, que son representadas por la masa, calor, dilatación, resistividad, etc. Y las químicas como la resistencia a diversos productos y agentes químicos.

2.- Propiedades de Formado. Son las que permiten realizar con la aleación un objeto de forma determinada por colada, lo que es por deformación en frío, o por deformación en el mecanizado o trabajo con arranque de viruta.

3.- Factores de variación. Son aquellos que pueden modificar las propiedades anteriores.

a.- Composición química. Establecida por el análisis químico, que nos da además de los componentes principales, impurezas poco abundantes, pero cuya influencia puede ser importante.

b.- Constitución físico-química. Es decir número, naturaleza y composición química y proporciones de los constituyentes según están agrupados los cuerpos simples que entran en la composición de una aleación.

c.- Estado mecánico. Caracterizado por la existencia eventual de constricciones residuales. Es decir las llamadas impropriamente tensiones internas, esfuerzos mutuos de tracción o compresión que se ejercen entre las diferentes partes de un cuerpo en ausencia de toda fuerza exterior y que resultan desiguales en todas las partes del cuerpo.

En una aleación, en el diagrama de equilibrio, en general, la aleación se solidifica, como un metal puro, a temperatura constante; para un enfriamiento bastante lento, la solidificación comienza a una temperatura T , y termina a una temperatura t , a veces bastante inferior a T ; no existe un punto de solidificación, si no un intervalo de solidificación.

El lugar T es el líquido; el lugar t es el sólido. Encima del líquido la aleación está enteramente líquida; debajo del sólido la aleación está enteramente sólida. Todo punto que se encuentre entre estas dos líneas está parcialmente líquido y parcialmente sólido.

El diagrama de solidificación de una aleación binaria se obtiene llevando en abscisas la composición de aleación, y en ordenadas las temperaturas T y t correspondientes.

La ley de las fases representada por la ecuación:

$$v = c + 2 - f$$

Donde v es la variancia que es el número de factores de equilibrio que pueden hacer variar sin que el número y la naturaleza de las

fases del sistema varíen.

La c representa el número de constituyentes independientes; es decir el número de cuerpos puros simples presentes en la aleación.

Y la f es el número de fases, es decir, de partes homogéneas en el sistema.

Los factores de equilibrio del sistema están representados por el número dos y son por lo general: presión, temperatura y los títulos de cada fase. La experiencia demuestra que las transformaciones sufridas por los metales y las aleaciones, la influencia de las variaciones de presión es generalmente inapreciable, que son casi siempre bajo la presión ordinaria y constante, siendo entonces válido despreciar los efectos de la presión. Por lo tanto la ley queda como:

$$v = c + 1 - f$$

2.1.2.1 Líquidos y Sólidos de las aleaciones binarias.

Los diversos casos que se pueden presentar se pueden clasificar en tres categorías principalmente que son:

A) Los metales son completamente miscibles en estado líquido.

a.- Una solución sólida.

b.- Dos soluciones sólidas, con punto eutéctico.

c.- Dos soluciones sólidas, con transformación peritética.

d.- Más de dos soluciones sólidas.

B) Los metales son parcialmente miscibles en estado líquido.

c) Los metales son completamente no-miscibles en estado líquido.

a.- Metales de solución sólida única.

En una solución sólida no se distinguen los metales - constituyentes, aun con un fuerte aumento. Es que los dos metales pueden ser perfectamente miscibles como el agua y el alcohol. En el caso de una solución sólida única, los dos metales son completamente miscibles en el estado sólido, donde forman una sola fase en el que el título de cada metal puede variar de 0 a 100%.

Enfriamiento de una aleación. Sea una aleación cualquiera, dejémosla enfriar a una temperatura T_1 , empieza la solidificación, se deposita una primera partícula de composición b; por consiguiente, el líquido se enriquece del componente B, y la temperatura de comienzo de solidificación disminuye. Al seguir disminuyendo la temperatura la masa de sólido depositada aumenta a expensas del líquido. En la temperatura T_2 tendremos una fase líquida de composición l y una fase sólida de composición s. A la temperatura t, que está situada con la intersección del sólidos y las verticales, la solidificación se ha llevado a cabo y por tanto terminada. Véase figura 2.2.2.1.

b.- Aleaciones de dos soluciones sólidas con punto eutéctico.

Las aleaciones de los metales A y B presentan una solución sólida si son ricas en A, y una solución sólida si son ricas en B. Por consiguiente, del punto de fusión de A parten el líquido y el sólido correspondientes al depósito de , mientras que el punto de fusión de B parten el líquido y el sólido de .

Las dos ramas del líquido se cortan en E; en este punto están presentes tres fases: el líquido E, y las dos soluciones

SOLUCION A Y B

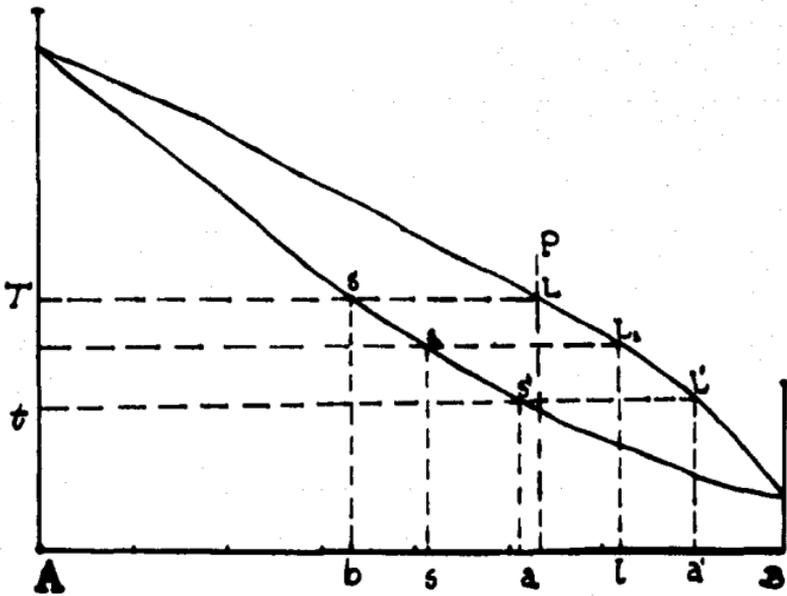


Figura 2.1.2.1

sólidas de concentraciones respectivas e_1 y e_2 . Por tanto la variancia $\nu=2+1-3=0$. Por lo tanto el equilibrio no puede tener más lugar que para una temperatura bien determinada; la menor variación de temperatura arrastrará la desaparición cuando menos de una fase.

Si E está situado entre e_1 y e_2 , E es un punto eutéctico, si E es exterior al segmento e_1e_2 , la aleación presenta un punto peritéctico. Figura 2.1.2.2.

En una aleación de dos soluciones sólidas con punto eutéctico su diagrama de equilibrio es de la siguiente manera: El líquido está formado por las ramas AE y BE. El sólido comprende las ramas Ae_1 y Be_2 , y la porción e_1Ee_2 .

Para la solidificación de las diversas aleaciones en las cuatro zonas principales del diagrama se comporta de la siguiente manera:

a) Aleaciones para las cuales $0 < B < e_1$. La solidificación se hace como en el caso de una solución sólida única, y se termina a una temperatura superior a T. Da un solo constituyente, la solución .

b) Aleaciones para las cuales $e_1 < B < E$. Durante el enfriamiento, la aleación se comporta como una solución sólida única entre las temperaturas t y T estando determinada t por la intersección del líquido con la vertical que pasa por el punto fugitivo de la aleación; se deposita solución sólida y su masa aumenta según desciende la temperatura; al mismo tiempo que su título crece de a e_1 y el del líquido de b a E. Esta solución e_1 se denomina proeutéctica. A una temperatura ligeramente superior a T, la aleación está formada por una fase líquida E y una solución sólida e_2 . A la temperatura T, el líquido restante

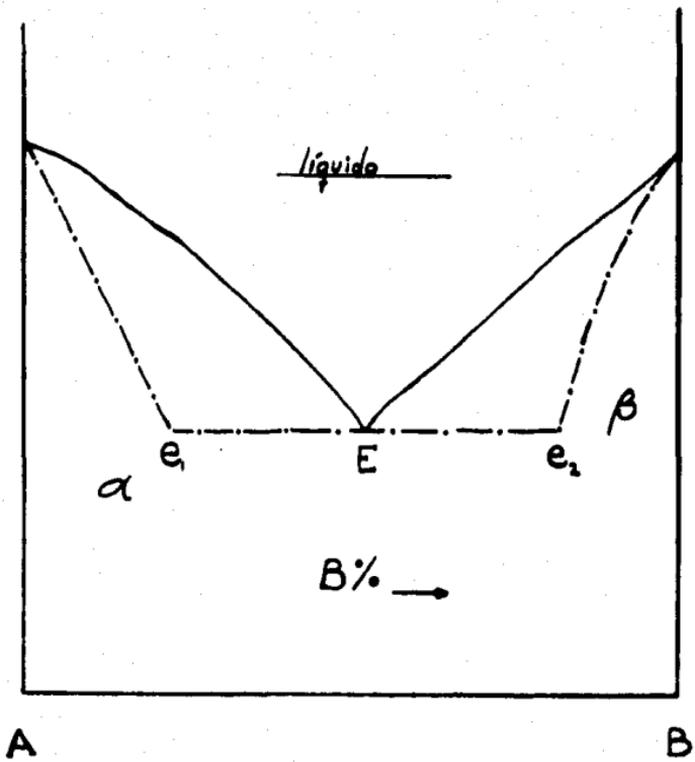


Figura 2.1.2.2

se solidifica, como el caso de la eutéctica, a temperatura constante, dando un agregado de estructura muy fina de $e_1 + e_2$. La solución e_1 - precedente no sufre ninguna transformación.

c) Aleaciones para las cuales $E > B\%$ e_2 . Este caso es análogo al anterior; la solidificación se opera en dos etapas: depósito a temperatura variable de la solución y formación de una solución - proeutéctica e_2 , y después solidificación eutéctica a temperatura --- constante.

d) Aleaciones para las cuales $e_2 > B\%$ 1. La solidificación se hace como en la primera, pero con depósito de solución sólida .

Las zonas que forman el diagrama de equilibrio son las siguientes:

I: líquido + solución sólida .

II: líquido + solución sólida .

III: solución sólida .

IV: solución sólida .

V: solución sólida e_1 + eutéctica.

VI: solución sólida e_2 + eutéctica.

La composición de la solución sólida varía entre 0 y e_1 , la solución varía entre e_2 y 100%; las soluciones e_1 y e_2 son los - límites respectivos de las soluciones y : son soluciones saturadas de B en A y de A en B respectivamente.

La eutéctica E es una mezcla heterogénea de las dos soluciones sólidas eutécticas e_1 y e_2 ; estas soluciones se llaman soluciones sólidas eutécticas e_1 y e_2 , mientras que las formadas antes de la solidificación del líquido E se llaman proeutécticas. Véase figura 2.1.

2.3.

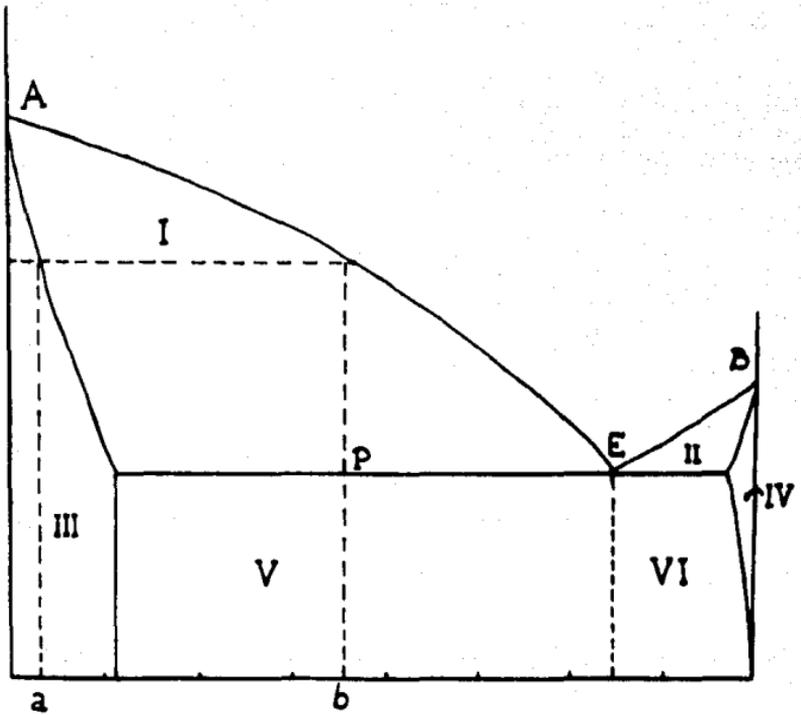


Figura 2.1.2.3

c.- Aleaciones de dos soluciones sólidas con transformaciones peritéticas.

Este tipo de aleaciones por las que el punto de máxima fusión, se encuentra fuera del segmento e_1e_2 , por lo cual se denomina peritético. Las dos ramas del liquidus y del sólidus están situadas a una y otra parte de la horizontal isoterma que pasa por el punto P, intersección de los dos liquidus. El liquidus es APB y el sólidus Ae_1e_2B .

Para las diversas aleaciones con punto de transformación denominado peritético, son de la siguiente manera:

a) Aleaciones para las cuales $0 < B\% e_1$. Es análogo al caso de la solución sólida única. La solidificación da lugar al depósito de solución sólida y se termina antes de la temperatura peritética T.

b) Aleaciones para las cuales $e_1 < B\% e_2$. La solidificación comienza a una temperatura superior a t; primero hay un depósito de solución sólida hasta la temperatura T. A la temperatura T se encuentra en presencia la solución sólida e_1 y el líquido P. A la temperatura T, el sólido e_1 reacciona sobre el líquido P, según la reacción I, pero como la proporción de líquido es demasiado débil para que la transformación se termina a esta temperatura y la aleación es una mezcla heterogénea de e_1 y e_2 .

c) Aleaciones para las cuales $e_2 < B\% P$. La solidificación comienza a una temperatura $t' < t$. Hasta T hay un depósito de solución sólida, después de T se verifica la transformación I, pero esta vez el líquido está en exceso; la aleación a una temperatura menor de T, es

tá formada de solución sólida e_2 y de líquido P; la solidificación no está terminada.

Si el enfriamiento continúa, la solidificación prosigue -- como para una solución sólida única. La fase sólida crece al mismo -- tiempo que su composición y finalmente se obtiene una solución sólida única.

d) Aleaciones para las cuales $B\% > P$. La solidificación comienza debajo de la temperatura T y conduce a una solución sólida .
Vea figura 2.1.2.4

d.- Aleaciones que presentan más de dos soluciones sólidas.

En el caso de que se presenten más de dos soluciones sólidas, la forma más sencilla será de tres por lo que hay, por lo -- tanto tres ramas de líquidos y tres ramas de sólidos. Son tres casos generales los que se pueden presentar.

1.- El líquido presenta dos puntos eutécticos. Este caso no ha sido observado hasta el presente y la solución sólida intermedia es remplazada por una combinación químicamente definida; -- el sólido presenta una porción vertical. Aún se llega a que las solu ciones extremas se reducen a los metales puros. Sin embargo la exis-- tencia de la solución intermedia es cierta.

Para una temperatura inferior a T_1 , esta combinación estaría en equilibrio por una parte con una solución . Por consi-- guiente, para $T < T_1$, se podría tener coexistencia de tres fases en equilibrio. Se tendría entonces $v = 2 + 1 - 3 = 0$, el equilibrio sería in

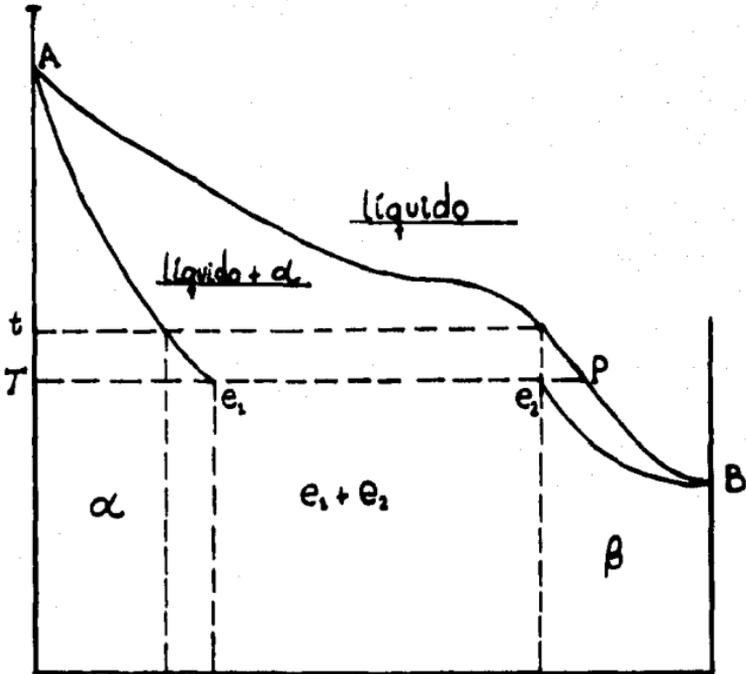


Figura 2.1.2.4

variante, y, por consecuencia, no debería poder subsistir más que para una temperatura única, y no para temperaturas inferiores a T_1 como indica el diagrama. Ver figura 2.1.2.5

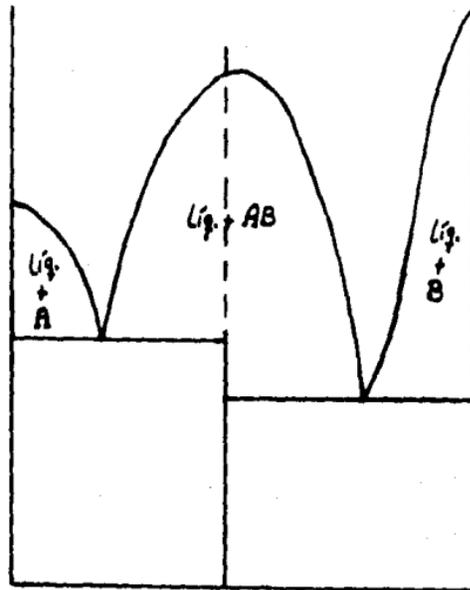
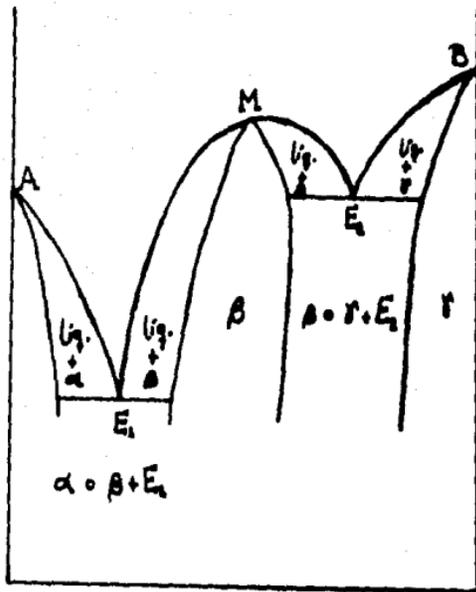
2.- El líquido presenta dos puntos peritéticos. Este es el caso de algunas aleaciones muy particulares. Son parecidos a las de un punto de transformación peritético, ya que si se hace un trazo aproximado al 50% se tendrán dos diagramas simples.

3.- El líquido presenta un punto peritético y otro eutéctico. Este es un caso también muy particular de algunas aleaciones, que si se hace un trazo, se dará un diagrama con punto eutéctico o con punto de transformación peritético del lado izquierdo el primero y el lado derecho el segundo o viceversa.

2.1.2.2 Aleaciones Ternarias.

Según la composición química de una aleación está representada por un punto M situado en el interior de un triángulo equilátero de lado igual a 100%, en que los vértices representan a los metales puros y los lados a las aleaciones binarias. Los títulos de los tres constituyentes son las coordenadas oblicuas del punto contadas paralelamente a los lados del triángulo. La aleación representada por el punto M tiene por título: 14% de A, 23% de B, 63% de C. Ver figura 2.1.2.2.1.

La temperatura de una aleación se representa por la extremidad de una perpendicular al plano del triángulo elevada en el punto representativo de la aleación, siendo la longitud de esta perpendicular proporcional a la temperatura.



Figuras 2.1.2.5

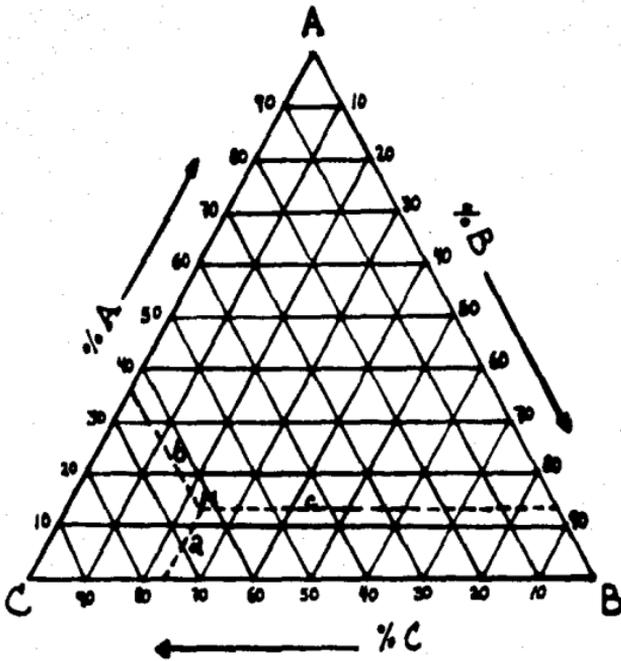


Figura 2.1.2.2.1

Un diagrama térmico ternario se compone de un conjunto de superficies curvas cuyos puntos correspondientes a los diversos equilibrios durante el enfriamiento; estos puntos están contenidos en el interior de un prisma recto triangular cuyas caras contienen los tres -- diagramas de equilibrio binarios relativo a los metales A, B y C.

El estudio de las aleaciones ternarias está poco avanzado y generalmente no se conoce más que porciones de estos diagramas.

2.1.3 Influencia de los diferentes elementos aleantes.

Las diferentes aleaciones que existen, han sido hechas para resistir a los agentes externos que las atacan, ya sean físicos, químicos o mecánicos es por tanto, que a éstas se les añaden más o menos de uno u otro aleante según sea su caso.

Los diferentes aleantes que se le añaden a los aceros son - los siguientes:

1.- Níquel.

El níquel fué uno de los primeros metales que se utilizaron como aleantes para la fabricación de aceros especiales. En el siglo pasado fué cuando se empezó a usar en cantidades entre 2 a 5%, lo cual dió como resultado el aumento de su resistencia y límite de elasticidad, sin disminuir la tenacidad.

Desde los primeros momentos en que se comenzó a utilizar el níquel como aleante, se vió que éste elemento comenzaba a mejorar sin duda alguna las propiedades de los aceros, y en especial, esta mejora se hizo más sensible cuando se empleó el níquel con el cromo y más cuando fué con el cromo y el molibdeno.

Una de las ventajas más importantes que resperta el uso-

de níquel, es evitar el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, lo que sirve para conseguir siempre con ellos gran tenacidad. Los aceros al níquel, a pesar de ser sometidos accidentalmente a temperaturas demasiado elevadas, quedan después del temple y revenido con muy -- buena tenacidad. En cambio a los aceros sin níquel, a los cuales se les apliquen algunos tratameintos inadvertidamente, a veces, quedan con --- cierta fragilidad. El níquel hace descender los puntos críticos y por -- tanto facilita así los tratamientos térmicos. Experimentalmente se ob-- serva que aceros con presencia de níquel se obtiene para una misma dureza, un límite de elasticidad ligeramente más elevado y mayores alarga-- mientos y resiliencia que con los aceros al carbono. También es importan-- te señalar que para una misma dureza su resistencia a la fatiga es ma-- yor en un 30% que los aceros ordinarios.

Entre todos sus elementos aleados, el níquel, que cristaliza como la austenita en cubos de caras centradas, es el único que for-- ma con el hierro una serie continua de soluciones sólidas. El níquel -- hace descender la temperatura de transformación gama-alfa y, por lo tan-- to, tiende a estabilizar la fase austenítica de caras centradas. Las -- aleaciones con más de 30% de níquel son austeníticas a temperatura am-- biente, y a pesar de su caracter austenítico, poseen ciertas caracterís-- ticas magnéticas.

El níquel es un elemento de extraordinaria importancia en la fabricación de aceros inoxidables, en los que además de cromo se emplean cantidades importantes de níquel variables de 8 a 20%. Estos ace-- ros son los austeníticos a temperatura ambiente y no admiten temple.

2.- Cromo.

Lo mismo que el níquel es uno de los elementos especiales más usados en la fabricación de aceros especiales como aceros para herramientas, de construcción, inoxidable. Se emplea en cantidades diversas que van desde 0.3 hasta 30%, según el caso, y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejorar la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidabilidad, etc.

En los aceros inoxidables martensíticos con 12 y 17% de cromo, aceros austeníticos con 14 a 25% de cromo y cantidades variables de níquel y aceros inoxidables ferríticos con 27% de cromo; son los que principalmente se utilizan.

3.- Molibdeno.

Su uso como aleante es reciente en el campo de los aceros. Mejora notablemente las propiedades de los aceros y su uso se ha extendido mucho, debido, en gran parte a los ricos yacimientos americanos.

Este elemento mejora notablemente la resistencia a la tracción, la templabilidad y la resistencia al "creep" de los aceros. - Añadiendo pequeñas cantidades a los aceros cromo-níquel, disminuye o elimina casi completamente la fragilidad, que se presenta cuando los aceros son revenidos entre 450 y 500°C.

El molibdeno aumenta también la resistencia de los aceros en caliente y reemplaza al wolframio en los aceros rápidos.

El molibdeno se disuelve en la ferrita, pero tiene la tendencia de formar carburos. Es un potente estabilizador de los carburos

complejos y tiende a retardar el ablandamiento de los aceros, durante el revenido.

4.- Wolframio (tungsteno).

Es muy empleado en la construcción de aceros herramientas, aceros rápidos, aceros para herramientas de corto y aceros para trabajos en caliente.

Sirve principalmente para evitar que los aceros se ablanden a altas temperaturas y se desafilan.

5.- Vanadio.

El vanadio se utiliza en la fabricación de aceros herramientas, tiende a afinar el grano y disminuir la templabilidad. Es un elemento desoxidante muy fuerte y tiene la tendencia a formar carburos. Es el más fuerte formador de los carburos, excepto que el columbio y el titanio. Es por esto que las cantidades que se añaden a los aceros no es mayor de 0.02%.

6.- Manganeso.

Aparece practicamente en todos los aceros debido, principalmente, a que se añade como elemento de adición para neutralizar la influencia del azufre y el oxígeno, que siempre suelen tener los aceros cuando se encuentran en su estado líquido en los hornos. Si los aceros no tuvieran manganeso, no se podría laminar ni forjar, por la presencia de azufre que formaría sulfuros de hierro.

En ciertos aceros el manganeso se suele emplear como elemento de aleación para aprovechar la influencia beneficiosa que ejerce en las propiedades de los aceros. Al aumentar de 0.6 a 1.6% de manganeso en

los aceros, se aumenta ligeramente su resistencia, se mejora su templabilidad, además es uno de los elementos aleantes más baratos, es el que tiene una mayor influencia en la templabilidad, más que el molibdeno.

El empleo de manganeso en porcentajes mayores a 1%, hace que el acero se haga austenítico.

7.- Silicio.

Este elemento aparece en todos los aceros lo mismo que el manganeso, porque se añade durante el proceso de fabricación. Es un desoxidante más energético que el manganeso, para evitar que salgan poros y --- otros defectos internos. La adición de silicio, suele ser menor que la de manganeso y es de 0.2 a 0.35%.

8.- Titanio.

Se suele añadir el titanio a algunos aceros muy especiales para desoxidar y afinar el grano. El titanio tiene gran tendencia a formar carburos y a combinarse con el nitrógeno. En los aceros inoxidable (cromo-níquel), actúa como estabilizador de los carburos y evita la corrosión intercrystalina. Esta se presenta en los aceros sin titanio, al perder los cristales austeníticos cromo, por combinarse este elemento con el carbono y formar carburos de cromo. En cambio cuando hay titanio, el carbono forma carburos de titanio y no hay pérdidas de cromo en la matriz del acero.

2.1.4 Estructuras Cristalinas Metálicas.

En estado sólido, las aleaciones metálicas están formadas por una multitud de pequeños cristales o granos entrelazados, todos análogos, cuyas dimensiones son del orden de algunos micrones; normalmente estos -- cristales están orientados a todas direcciones en el espacio.

Los átomos en los cristales han perdido todos o parte de sus electrones de valencia, y el cristal debe ser considerado como un conjunto de iones positivos rodeado de una nube de electrones. Estos electrones -- pueden desplazarse fácilmente a través de toda la masa del metal en los vacíos dejados entre los iones, lo cual explica la fuerte conductividad electrónica y térmica de los metales. La rigidez del metal se deba a la atracción que se ejerce entre los electrones y los iones positivos que se opone a las fuerzas de repulsión entre partículas del mismo signo.

Un cristal está constituido esencialmente de iones que forman un motivo que se repite periódicamente según tres direcciones del espacio. Cada cristal está formado por un apilamiento regular de cationes regulares como esferas rígidas tangentes entre ellas y puede ser dividido en paralelepípedos formando un sistema de rectas paralelas en tres direcciones no coplanarias de 90° o no. El conjunto de estos paralelepípedos se denominan redes espaciales cuyos vértices son los nodos o átomos. Un sistema cristalino se define por la longitud de las aristas, ángulo entre ellas, y por la disposición de los iones. Los cristales presentan límites irregulares, aun cuando la disposición interna sea de forma regular.

Formas de las estructuras cristalinas.

Existen una gran variedad de estructuras cristalinas, pero tres son las más comunes dentro de la solidificación de los metales.

1.- Sistema de cubo centrado. La malla es un cubo, los centros de los iones se encuentran no solamente en los vértices, sino también en el centro de cada cubo elemental. Se encuentran dos átomos por cubo, cada ion central contando por un átomo, y cada ion de vértice contando por un octavo de átomo, puesto que es común a ocho cubos. Ver figura 2.1.4.1

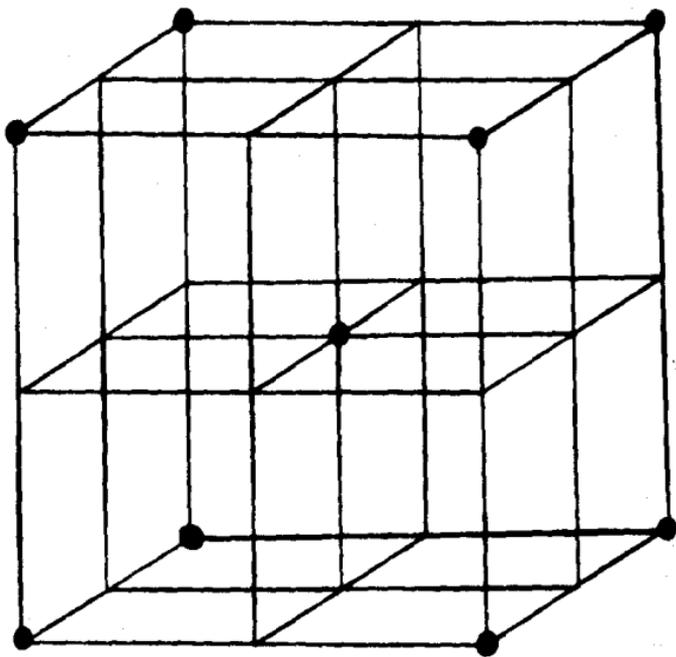


Figura 2.1.4.1

2.- Sistema cúbico de caras centradas. La malla es un cubo; los centros de los iones ocupan los vértices y los centros de las caras de los cubos. A cada cubo corresponden cuatro átomos. Uno para vértices y tres para las caras. Ver figura 2.1.4.2

3.- Sistema hexagonal compacto. La malla es un prisma recto de base rómbica, pero generalmente se considera como un sólido elemental el conjunto de tres de estos prismas, y la red esta formada por yuxtaposición de prismas rectos de base hexagonal regular; los vértices de los iones ocupan su centro; los centros de las bases y los centros de tres triángulos equiláteros no adyacentes situados en la sección recta media. A cada prisma corresponden seis átomos; dos para los vértices uno para el centro de las bases y tres para los átomos internos. Ver figura 2.1.4.3

Defectos en las estructuras cristalinas.

Las estructuras cristalinas, perfectamente regulares, se denominan cristales ideales, para distinguirlos de los más o menos perfectos, llamados reales. El conocimiento de estructuras cristalinas ideales convencionales es vital para comprender el comportamiento de los metales. Sin embargo, un estudio adecuado de las propiedades sensibles a la estructura exige información complementaria sobre los cristales reales.

Existen diversos tipos de imperfecciones estructurales de los cristales y una forma conveniente de clasificarlos es en defectos de punto, defectos de línea y defectos de superficie.

Los defectos de punto se subdividen principalmente en cuatro formas:

a) Vacancia. Es la falta de un átomo, es decir que su lugar se encuentra vacante.

b) Atomo intersticial. Es cuando existe un átomo de más y se encuen-

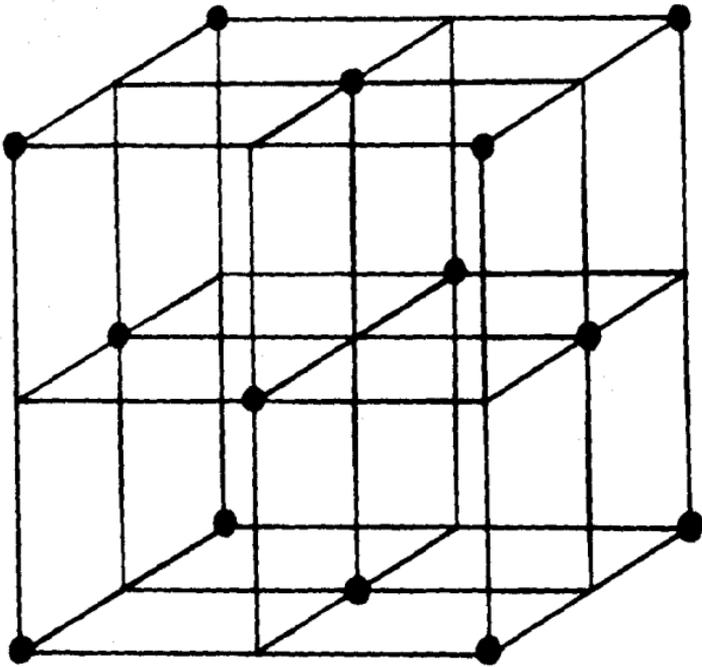


Figura 2.1.4.2

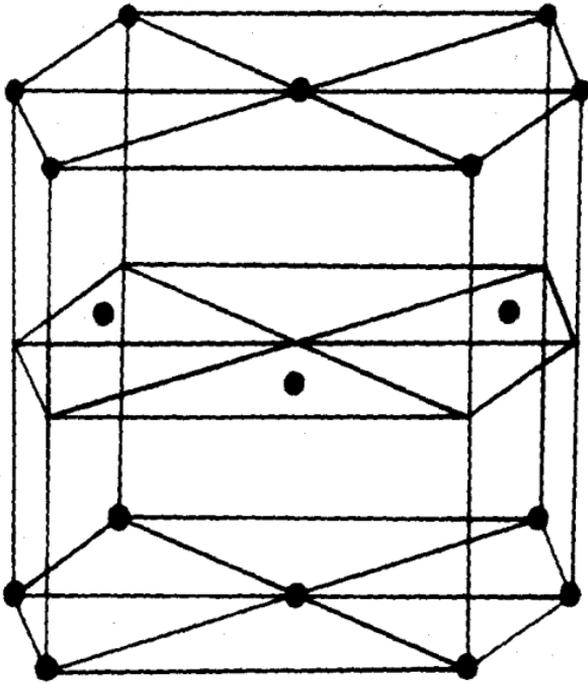


Figura 2.1.4.3

tra intersectado entre los demás.

c) Defecto de Frankel. Es cuando un átomo se encuentra fuera de su lugar intersectado entre los otros.

d) Atomo de impureza. Es cuando un átomo que no tiene nada que ver con la red se encuentra en ella.

Límites de grano.

Aunque las fases vapor y líquido de un metal puro son continuas, - la fase sólida está normalmente dividida en granos separados por límite de granos. Cada grano representa una parte de la fase sólida con una orientación dada de los ejes cristalinos y, al pasar de un grano al siguiente, la orientación cambia bruscamente a través del límite de grano. Si la muestra está formada por un solo grano, un monocristal metálico, - ella posee menos energía que la forma policristalina.

El límite de grano no es sencillo y por tanto es importante su estudio detallado. A través de un átomo o dos, cerca del límite de grano, la estructura de la red se encuentra severamente desordenada y los átomos muy desplazados de sus posiciones normales. A mayor distancia del límite de grano, la red está deformada elásticamente y, por lo tanto, la energía es más elevada que en el volumen principal del grano. Es por lo que se considera los límites de grano como regiones de transición entre las redes cristalinas de diferente orientación de dos átomos vecinos.

2.1.5 Micrografía y Macrografía.

La metalografía microscópica o micrografía tiene por objeto-revelar los constituyentes de los productos metalúrgicos (metales puros, combinaciones, soluciones sólidas), para esto se produce al examen al microscopio por reflexión de una superficie pulida y generalmente ataca-

da.

Los pasos que se siguen para realizar un examen de este tipo son los siguientes:

1.- Toma de la muestra. El lugar y el sentido de la toma, depende del fin a alcanzar; el resultado observado no será el mismo si la toma fué del núcleo o de la periferia del mismo lingote; y en general un solo examen es insuficiente. La toma se practica con sierra, obeteniendo un cubo de unos 10 por 15 mm., tratando de no provocar un aumento de temperatura grande, porque podría haber modificación de la constitución del metal.

2.- El pulido. Consiste en hacer una superficie plana y brillante de forma que no presente ninguna raya susceptible de perjudicar el examen ulterior. Para esto se frota el metal sobre abrasivos cada vez más finos, se prolonga la acción de cada uno de ellos hasta que desaparescan las rayas creadas por el producto precedente. El pulido comprende tres fases:

a) Preparación. Tiene por objeto crear la superficie plana del examen. Se hace sobre la muela de carborundo, o de esmeril o con lima; generalmente se pasa la muestra en seguida sobre una tela esmeril de grano muy fino.

b) Desbaste. Se opera con la ayuda de papeles de esmeril cada vez más finos, del número 0 al 0000, siendo ésta la operación más delicada.

c) Acabado. La muestra se pule generalmente sobre un disco embebido con agua que tiene en suspensión un abrasivo. El disco es giratorio, en el cual se colocan hojas de cinc y luego de paño. Para aleación

nes duras se colocan de fieltro comprimido.

El abrasivo que generalmente se utiliza es la alúmina, que es combinada con agua en partes de 21 de agua por 100 gr. de alúmina, agitan- dose y después se deja reposar.

3.- El ataque. El ataque tiene por objeto revelar las uniones de los cristales, y diferenciar los constituyentes de la aleación. El método más común es el de meter la cara a atacar en el reactivo durante un tiempo conveniente. El tiempo de ataque debe de ser muy exacto, y depende del material que se trate y esta en función de la experiencia y va desde unos minutos a unos segundos.

Los reactivos más comunes son:

Solución alcohólica de ácido nítrico (50cm. de ácido, densidad de 1.33 gr/lit); este reactivo es para aceros y fundiciones, revela la unión de los cristales de ferrita y colora la perlita.

Solución alcohólica de ácido pferico (20gr. de ácido pferico y 250gr. de sosa por litro); se utiliza para descubrir la cementita de -- los aceros.

Solución alcohólica de cloro férrico para las aleaciones de - cobre.

Solución alcohólica de ácido crómico para los metales y alea- ciones blancos.

La Macrografía.

La macrografía es un examen de conjunto, hecho a simple vista o con un aumento pequeño (lupa), de un producto metalúrgico pulido y atacado, - su técnica es muy parecida a la de la micrografía y sólo se utiliza para los aceros.

La macrografía revela las heterogeneidades de diversos órdenes. Así da información sobre los siguientes puntos:

1.- Organización cristalina o macroestructura. Es revelada gracias a la heterogeneidad cristalina. El ataque macrográfico, en particular por los reactivos cúpricos, descubre los granos en los metales brutos de co-lada o revela la estructura primaria dentrítica, que no es modificada por los tratamientos térmicos, aunque las dentritas pueden desaparecer en el curso del enfriamiento.

2.- Irregularidades de composición. Un lingote no es homogéneo desde el punto de vista químico, ciertas impurezas, especialmente el azufre y el fósforo, se extienden en las partes solidificadas en último lugar, y por consecuencia se acumulan en las proximidades de la cavidad de con-tracción. El ataque macrográfico descubre igualmente la presencia de esco-rias y sopladuras.

3.- Estudio de los modos de fabricación. Resulta de la determina-ción de las heterogeneidades de estructura o de composición. Es importan-te el manejo de la macroestructura para poder lograr con mayor eficacia - los tratamientos mecánicos, térmicos y químicos a los metales en estudio.

2.2 Diagramas. Análisis.

2.2.1 Diagrama de equilibrio para Hierro-carbono.

El diagrama de la figura 2.2.1.1 representa a la aleación binaria hierro carbono. El trazado de este diagrama es para los contenidos inferiores de 6.7% de carbono. Las zonas que conforman este diagrama, además de las líneas de transformación a temperatura constante, son las siguientes:

Zona I. A lo largo de AC hay depósito de una solución sólida de carbono en hierro llamada austenita, de contenido de carbono de 0 a 1.7%. Por lo tanto la zona I esta contenida de una mezcla de líquido + austenita.

Zona II. A lo largo de CD, curva de solubilidad de la cementita en la fundición líquida, cuyo trazado está aún mal determinado, hay depósito de cementita CF_3 . Por tanto la zona II está formada de líquido + cementita, que es cementita primaria o proeutéctica.

Zona III. Esta compuesta de austenita de composición química variable, no presentando transformación en el curso del enfriamiento.

Línea eutéctica. A $1145^{\circ}C$, el líquido eutéctico de 4.3% de C, se solidifica, dando la ledeburita, eutéctico formado de cementita y austenita a 1.7% de C también llamado austenita eutéctica, que contiene: $\frac{CF}{EF}$

$$\frac{6.7 - 4.3}{6.7 - 1.7} = 48\% \text{ de austenita.}$$

Zona IV. La zona IV comprende dos fases que son austenita + cementita. A lo largo de la línea ES, la cementita, que es secundaria, se separa de la austenita que se empobrece en carbono de 1.7 a 0.85%.

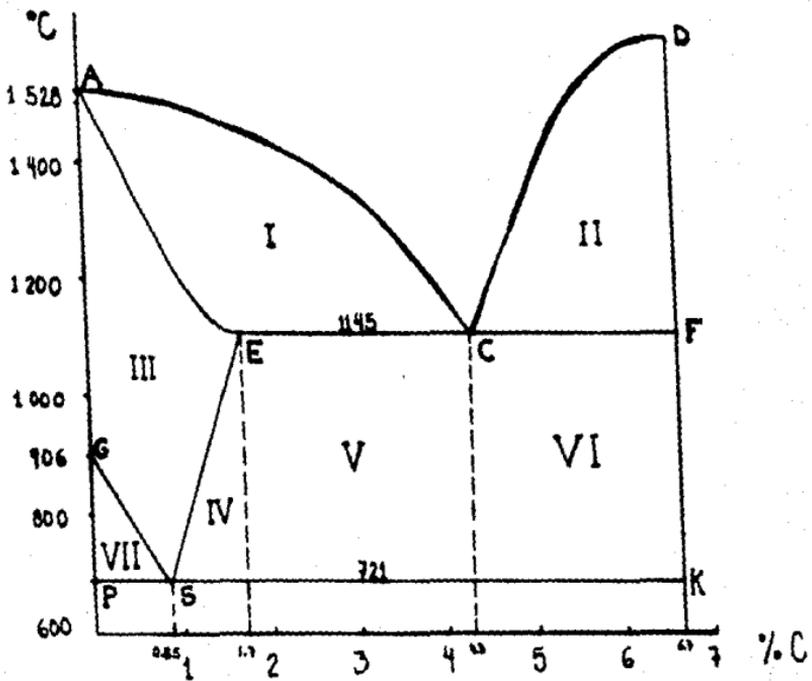


Figura 2.2.1.1 Diagrama Hierro-Carbono

Línea eutectoide. En el punto S, la austenita de composición de 0.85% de C, se convierte en perlita, eutectoide formado de ferrita y - de cementita.

Debajo de la línea PSK comprende desde el punto de vista físico-químico, cuatro partes que están delimitadas por los puntos S (eutéctico de 0.85% de C) el punto E que corresponde al punto máximo de contenido de carbono para la austenita y el punto C (eutéctico también).

El diagrama se divide también, según el porcentaje de carbono y es en tres zonas, que son:

Los Hierros. Esta parte del diagrama es de 0.1% de carbono, el cual es muy bajo, y por tanto, no lo afecta sobre sus propiedades ordinarias.

Los Aceros. Estos van desde 0.1% a 1.7% de carbono y se subdividen en dos. De 0.1% a 0.85% de carbono, son los denominados aceros hipoeutéticos y los que van de 0.85% a 1.7% de carbono son los aceros hipereutéticos.

Las Fundiciones. Estas son las que se encuentran entre 1.7% a 6.7% de carbono, subdividiéndose en dos que son de 1.7% a 4.3% de carbono las denominadas hipoeutéticas y las que son de 4.3% a 6.7% de carbono las hipereutéticas.

2.2.2 Diagrama Esfuerzo-Deformación.

La curva esfuerzo-deformación se obtiene por la acción de -- carga estática sobre una probeta estándar, es decir, mediante la aplicación suficientemente lenta de la carga, para que todas las partes de la -- probeta estén en equilibrio en todo instante. La curva se obtiene en general, gobernando la rapidez de la carga en la máquina de prueba. Otra forma de obtener la curva es especificar la razón de deformación como la varia--

ble independiente, en cuyo caso la razón de rapidez se ajusta en forma continua para obtener la razón de deformación requerida.

Para la mayoría de los materiales, la curva debe tener una región elástica lineal inicial, en la cual la deformación es reversible e independiente del tiempo. La pendiente de esta región se conoce como módulo de Young, representado por E ; el límite elástico proporcional es el punto donde la curva comienza a desviarse de la línea recta. El límite elástico (con frecuencia no distinguible del anterior), es el punto sobre la curva más allá del cual está presente la deformación plástica después que deja de actuar la carga. Si se aumenta más el esfuerzo, la curva esfuerzo-deformación se aparta cada vez más de la línea recta.

En la figura 2.2.2.1, al descargar la probeta, en el punto X , la proporción XX' es lineal, y es, en esencia, paralela a la línea original OX'' . La distancia horizontal OX' se llama grado de deformación permanente, que corresponde al esfuerzo en X . Esta es la base para la arbitraria construcción de la resistencia a la cedencia. Para determinar la resistencia de cedencia, se traza una línea recta XX' paralela a la línea elástica inicial OX'' , pero desplazada de ella un valor arbitrario de deformación permanente. La deformación permanente es aproximadamente de 0.2% del tramo de medición original. La intersección de ésta línea con la curva se denomina valor de resistencia de cedencia. Al informar de la resistencia de cedencia, debe de especificarse la cantidad de deformación permanente. La resistencia de cedencia arbitraria, se usa para todo material que no exhibe punto de cedencia natural, como los materiales no ferrosos; pero su uso no se limita a éstos. La conducta plástica depende del tiempo, sobre todo a temperaturas elevadas. Asimismo a temperaturas elevadas puede descubrirse una pequeña cantidad de deformación reversible que depende del tiempo.

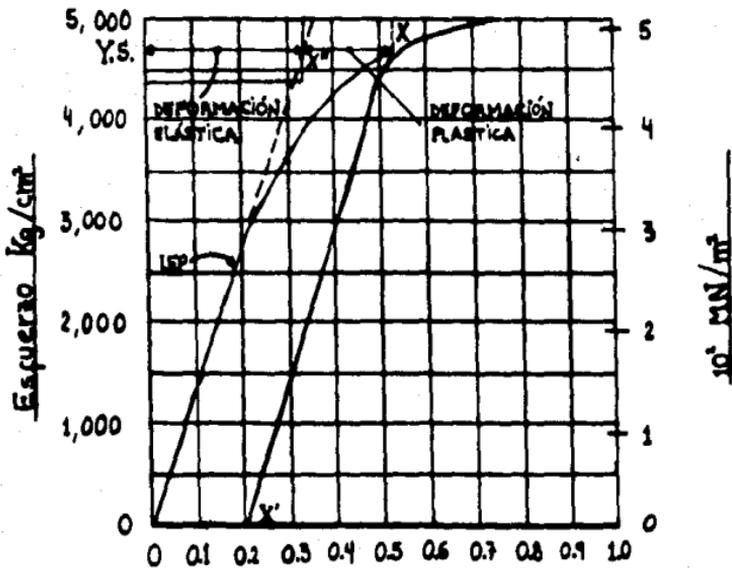
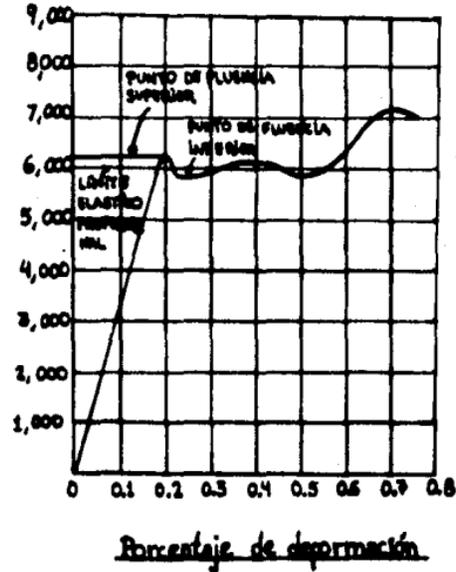
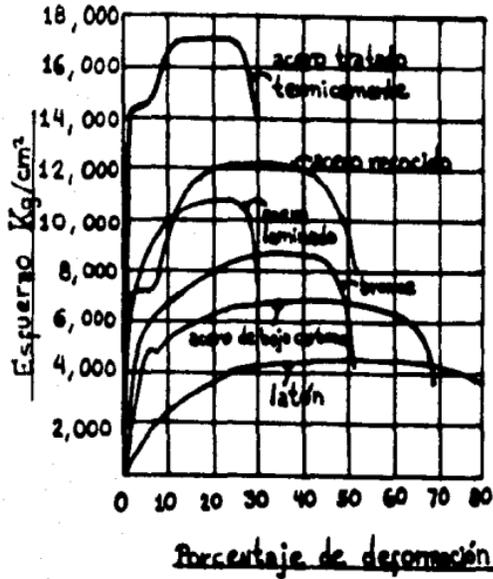


Figura 2.2.2.1

La resistencia última a la tracción es la carga máxima sostenida por la probeta dividida por el área de la sección transversal original de la probeta. El porcentaje de alargamiento en la falla es la extensión plástica de la probeta en la falla expresada como el producto de (cambio de longitud de medición original x 100) dividido por la longitud de medición original.

El porcentaje de reducción de área de la probeta es la concentración del área en reducción para la sección transversal en la fractura - expresada como un porcentaje del área original. Se obtiene midiendo la sección transversal en la fractura de la probeta rota. La reducción del área junto con la carga en la fractura pueden usarse para obtener el esfuerzo - fractura. La contracción es máxima en los materiales tenaces y dúctiles y mínima en los materiales quebradizos. Ver figura 2.2.2.2.

Figuras 2.2.2.2



2.3. Aceros Inoxidable.

2.3.1 Introducción.

La corrosión en el hierro y en el acero es un problema muy antiguo para la humanidad. Estos materiales que proporcionan a la sociedad tantas comodidades y bienestar, fallan por su poca resistencia a la acción de ciertos agentes destructores como la humedad, el aire, la atmósfera de ciertas ciudades y otros.

A veces, la corrosión que experimenta el acero es tan intensa, que llega a desaparecer en algunas zonas el carácter metálico de la materia, que queda transformado en óxido de hierro.

Es por tanto que desde el siglo pasado hicieron estudios con diferentes aceros y aleantes, que dieron como resultado aceros mejorados y más resistentes a la corrosión y útiles a la humanidad.

El verdadero descubrimiento de los aceros inoxidable, y sobre todo la fabricación industrial de estos aceros, no se hizo hasta los primeros años de éste siglo.

2.3.2 Estudio de algunas teorías y factores que afectan a la corrosión.

Se da el nombre de corrosión al ataque de carácter químico o electroquímico que experimentan algunos cuerpos por la acción del aire, la humedad, atmósferas industriales o marinas, por el efecto de ácidos o de sales o por el calentamiento a elevadas temperaturas. Este ataque se inicia siempre en la superficie de los cuerpos, para progresar luego al interior.

Se ha comprobado que en el aire ambiente para que se produzca la corrosión en el hierro y el acero es necesaria una cierta cantidad de -

humedad. En el aire completamente seco la corrosión no se produce.

El fenómeno de corrosión de los metales es extraordinariamente complejo, ya que la forma de producirse depende de varios factores, como son la composición del material, la temperatura, el medio ambiente, -- grado de humedad, concentración y naturaleza de los líquidos que se ponen en contacto con el metal, presencia de oxígeno u otro oxidante, naturaleza de la superficie de las piezas, etc.

El fenómeno de la corrosión se ha tratado de varias formas, -- por lo cual existen varias teorías, siendo dos las más importantes.

Teoría Ácida. Es una de las primeras teorías que se formuló -- para explicar el fenómeno de la corrosión. Según esta teoría, en los fenómenos de corrosión tiene gran importancia la acción de ciertos ácidos débiles y en especial la acción del ácido carbónico. De acuerdo con esta -- teoría, para que se produzca la corrosión de los metales hace falta oxígeno, agua y ácido carbónico. El fenómeno se explica considerando que este -- ácido reacciona con el hierro, formando carbonato ferroso soluble que luego se oxida por la acción del oxígeno que existe en el agua, formándose -- óxido e hidróxido férrico que forman en la superficie del hierro la cascarrilla, regenerándose en esta última reacción de bióxido de carbono y quedando en libertad el radical ácido que puede volver a actuar sobre el hierro.

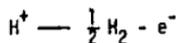
Teoría electroquímica. El fundamento de la teoría electroquímica, que en la actualidad es la que tiene más aceptación, se basa en el hecho de que el hierro en contacto con el agua sufre una acción electroquímica. Cuando el material se encuentra en un ambiente húmedo o en contacto con algún líquido por efecto de las heterogeneidades del material -- debidas bien a diferencias de composición, de unas zonas a otras, irregu-

laridades en el contenido de carbono o en la distribución de los componentes microscópicos y macroscópicos, a desigualdad en tratamiento, etc., se forman en la superficie metálica pequeñas pilas galvánicas. Estas pequeñas pilas de corrosión están constituidas por dos electrodos que tienen circunstancialmente diferentes características y están sumergidos en un electrólito cuya naturaleza depende del medio ambiente en que se produce el fenómeno. Uno de estos electrodos es capaz de funcionar como ánodo y el otro como cátodo. En las zonas anódicas hay un paso de átomos de hierro al agua que dan lugar a la formación de hierro en la fase líquida, de acuerdo con la reacción:



La velocidad de la reacción depende de la velocidad con que se efectúen las reacciones en el cátodo. Es por lo que el avance de la corrosión está controlado catódicamente.

En las áreas catódicas hay dos reacciones típicas, que son:

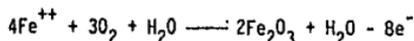


La primera reacción de las dos anteriores es bastante rápida en medios alcalinos o neutros. Puede acelerarse por la presencia de oxígeno disuelto, como se señala en la segunda reacción, que es un proceso llamado de despolarización.

La velocidad de la reacción catódica y por lo tanto la intensidad de corrosión depende de la velocidad de difusión del oxígeno en la superficie del metal. La velocidad de difusión depende de la concentración --

del oxígeno disuelto en el medio acuoso.

El ion ferroso se oxida, transformándose en óxido férrico de acuerdo con la reacción:



2.3.3 La Pasividad en los Fenómenos de Corrosión.

El fenómeno de corrosión en los metales en ocasiones se inicia muy rápidamente, pero luego la velocidad de la reacción decrece y en determinadas condiciones se para. A este fenómeno, muy característico en determinados procesos de corrosión, se le ha designado con el nombre de pasividad.

Un caso típico es el que se presenta en el hierro o el acero sumergidos en ácido nítrico. El ataque del ácido al metal que se inicia - cuando ambos se ponen en contacto, luego se para rápidamente y mientras - la temperatura o la concentración del ácido no cambia, no progresa el ataque. Parece que cuando se presenta este fenómeno se desarrolla un estado de pasividad en el que el metal es más noble de lo que teóricamente le corresponde de acuerdo con su posición en la serie electroquímica.

Ordinariamente se piensa que la pasividad es debida a la formación de una delgada y adherente película que es insoluble en el medio - que actúa como agente corrosivo.

Esta teoría está apoyada en el hecho de que cuando se ha desarrollado la pasividad por la acción de un determinado medio, si se cambia la concentración, la temperatura o la naturaleza o clase del medio, puede haber un cambio rápido en la acción corrosiva, pasando el fenómeno de estado pasivo al activo.

2.3.4 Diagrama de los aceros austeníticos.

Los aceros austeníticos de una aleación cromo-níquel se hace más difícil su representación de los diagramas de equilibrio por haber un número mayor, lo que los hace entrar a el tipo de diagramas ternarios.

En las figuras 2.3.4.1 y 2.3.4.2 se ve la situación de las temperaturas críticas en los aceros con cromo-níquel austeníticos con 12 y - 18% de cromo, cuando después de ser calentados los aceros a elevadas temperaturas son enfriados lentamente o cuando son enfriados al aire. Se observa que cuando se enfrían al aire, la transformación gamma-alfa se verifica a más baja temperatura que cuando el enfriamiento es infinitamente lento. En la primera figura se observa que para obtener una estructura austenítica es necesario por lo menos 11% de níquel y en la segunda figura tan sólo con el 8% de níquel aproximadamente.

En los aceros cromo-níquel de bajo carbono además de favorecer la formación de austenita estable después de los enfriamientos al aire, - sirve indirectamente para que estos aceros tengan una gran ductilidad, tenacidad, resistencia a la deformación en caliente y gran resistencia a la corrosión que son características propias de la estructura austenítica. - En realidad la acción del níquel es indirecta, ya que las mejoras en las características es debida a la deformación de una fase austenítica (hierro gamma, con cromo y níquel en disolución) de gran inoxidabilidad.

Los aceros austeníticos que son los que tienen la máxima resistencia a la corrosión, llegan a la fase gamma por calentamiento a 950-1050°C y enfriamiento rápido en agua. Cuando estos aceros son sometidos a ciertos trabajos mecánicos en frío, como el estirado o el laminado, o cuando son calentados a temperaturas variables de 500 a 700°C la austenita --

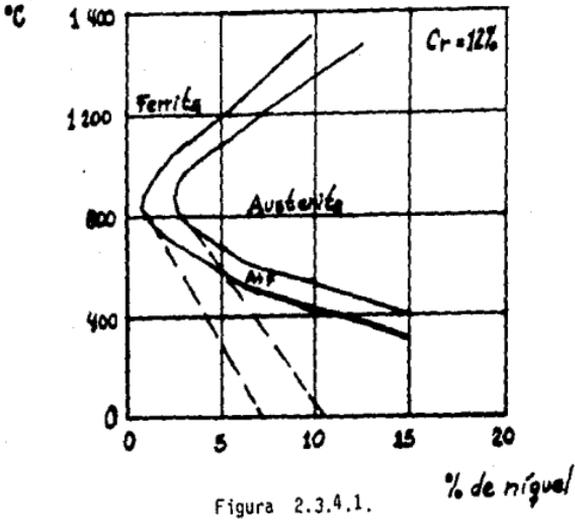


Figura 2.3.4.1.

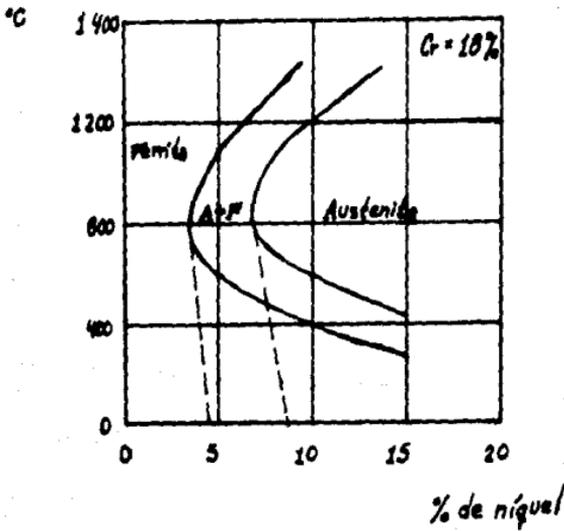


Figura 2.3.4.2.

puede transformarse en otros constituyentes y a desprenderse carburos, disminuyendo con eso la resistencia a la corrosión.

2.3.5 Aceros Inoxidables Austeníticos.

Estos aceros se caracterizan por tener muy buena resistencia a la acción de los agentes atmosféricos, por ser los aceros que tienen mayor resistencia a la acción corrosiva de los ácidos y tener además, en general, a elevadas temperaturas buena resistencia mecánica y muy buena resistencia mecánica y muy buena resistencia a la oxidación.

El comportamiento y las propiedades de esos aceros son muy diferentes a la de los aceros ordinarios y puede decirse que forman una familia de características muy especiales distinta a las demás.

2.3.5.1 Principales propiedades de los aceros inoxidables - austeníticos.

Este grupo de aceros tiene una serie de propiedades muy características que los demás aceros inoxidables y aceros ordinarios al carbono.

Para lograr un ablandamiento en los aceros austeníticos, es necesario calentarlos a una temperatura de 1050°C y luego enfriarlos rápidamente. Además, después de un tratamiento de austenización quedan con una dureza muy baja, tienen una ductilidad extraordinaria (45 y 50% de alargamiento), mucho mayor que la de los aceros extradulces ordinarios, y por -- trabajo en frío se endurecen mucho más que los aceros ordinarios.

En los casos en que interesa utilizar estos aceros con gran dureza o resistencia, es necesario someterlos durante el proceso de fabricación a trabajos en frío, que se realizan sin mucha ductilidad.

CAPITULO TERCERO

ANALISIS DEL PROCESO PARA FABRICAR ACERO PARA IMPLANTES

CAPITULO TERCERO

ANALISIS DEL PROCESO PARA FABRICAR ACERO PARA IMPLANTES.

3.1 Descripción del Proceso.

El proceso para fabricar acero para implantes es el denominado, refusión por arco al vacío. La fusión por arco es un método que no tiene semejanza con métodos convencionales de fusión. El método consiste en hacer saltar un arco, que es una descarga producida por una corriente de alta intensidad a bajo voltaje. Este arco pasa a través de electrodos, los cuales pueden ser permanentes o no consumibles o pueden ser consumibles.

La fusión de la carga se lleva a cabo en un crisol, el cual está refrigerado por agua, pero se utilizan moldes que por lo general son de grafito.

El suministro de corriente eléctrica es continua, el voltaje del arco es de unos 40 V y la intensidad varía con el tamaño del electrodo, el tamaño del molde y de la carga a fundirse. La intensidad de la corriente será bastante alta para asegurar que el baño fundido se extienda correctamente hasta al pared del molde.

3.2 Diferentes Operaciones del Proceso.

El arco en vacío: El arco que se hace saltar es diferente a los arcos que se producen a presión atmosférica. Las características del arco para producir acero para implantes son especiales.

Se hace saltar un arco de 1660 A a una tensión de 80 V y una presión crítica de 0.5 torr. La presión crítica esta en función de la intensidad de la corriente, a más corriente mayor es su presión crítica.

El arco tiene gran movilidad arriba de la presión crítica y aumenta según baja la presión, pero una vez que pasa la presión crítica, éste se fija al final del electrodo y es completamente estable, continuando este comportamiento estable a más bajas presiones. Es importante controlar el arco ya que si se deja en movimiento puede trepar por el crisol y provocar una perforación en el mismo.

Tipo de electrodo: En la fabricación de acero para implantes se utilizan electrodos consumibles los cuales son preformados y se montan en el horno antes de hacer el vacío. La fabricación de estos electrodos es acero fundido al aire y se forjan en barras del tamaño necesario para la carga que se va a fundir. Normalmente estos electrodos que se van a fundir en gotitas, tienen una fundición previa al vacío, que puede ser por arco o por inducción, por lo cual el método se denomina de refusión bajo arco.

Control de la longitud del arco: A medida que el arco se hace más corto, sus características eléctricas varían ligeramente, hasta que súbitamente, el electrodo se pone en contacto con la masa fundida, el voltaje baja de los 80 V algunas veces hasta menos de 40 V y la corriente aumenta

considerablemente. Para lograr el control en cambios de voltaje lo que se hace es variar la longitud del arco, ya que el voltaje está en función de la longitud del arco.

Método de fusión: La operación de fusión, se realiza bajo la forma de crisol refrigerado con un molde, además de la utilización de electrodos - consumibles.

Es por tanto que el horno que se utiliza en el proceso es de crisol - refrigerado que bascula para colar en un molde de grafito. Este horno funciona bajo la forma de cáscara es decir, que el molde refrigerado por --- agua tiene además una cascarilla de material refractario, para aguantar - la temperatura de austenitización necesaria para el acero para implantes. El crisol tiene 30 centímetros de profundidad y una conicidad de 25 centímetros de diámetro en la cabeza y 20 centímetros en el fondo, siendo el - diseño de ésta forma, para permitir el fácil retiro y reemplazo ya que sufre un daño considerable durante la fusión y colada. El crisol tiene una capacidad total de 125 centímetros cúbicos.

3.3 Características del Proceso y el Acero para Implantes.

La fusión por arco en vacío, tiene por características, en primer lugar la temperatura del arco en vacío es muy alta siendo a veces hasta de 2000°K y por tanto se efectúa la eliminación y destrucción de impurezas - como inclusiones no metálicas principalmente, por otra parte siendo la -- presión muy baja menos de la crítica (0.5 torr), ayudará a la eliminación de los gases, además existe menos oportunidad de contaminación por los -- componentes del horno. Entre los principales elementos no deseados se encuentra el cobre que se evita la adición de chatarra en la aleación. Las cantidades de fósforo y azufre son menores que 0.025% 0.010% respectivamente. Este bajo contenido de óxidos y azufre se logra solo mediante el - proceso de refusión con arco. Las inclusiones de óxidos no deben sobrepasar la designación No. 1 $\frac{1}{2}$; las inclusiones de sulfuros de manganeso no deben exceder la designación No. 1 da la misma norma ASTM E-45-63, método D, para aceros inoxidable con bajo contenido de impurezas.

Aparte de la temperatura, es obvia la importancia de la presión sobre el baño para la estimación de la purificación. La presión en la inmediata proximidad del arco es diferente de la que existe en el cuerpo del horno, pero esta diferencia es ligeramente más alta en el fondo del molde que en la cabeza del mismo.

Durante la fusión el contenido de oxígeno se reduce de alrededor de - 1500 ppm a menos de 100 ppm, lo que hace que tenga entre 0.002% a 0.01% - de oxígeno. La reducción de hidrógeno fué entre 1 y 2 ppm lo que es ---- 0.0001% de hidrógeno. Y la reducción de nitrógeno entre 20 y 200 ppm. que es 0.02% de nitrógeno. Es lo que respecta a eliminación de gases. El carbono, el cual se encuentra en un muy bajo contenido en el acero (alrede--

dor de 0.01-0.03%), es eliminado junto con el oxígeno bajo la forma de CO. Si el gas se desprende cerca del arco, la presión será más alta en sus --- proximidades que en la cámara del horno.

Puesto que la purificación del acero depende de la eliminación de gas es importante el tipo de hornos que se utiliza, siendo el más utilizado, el horno de fusión en cáscara, el cual se muestra en la figura 3.3.1.

El electrodo tendrá un diámetro tan pequeño como sea posible, (menos - de 5 centímetros), siendo fijado éste tamaño mínimo por su capacidad con- ductora de la corriente, que debe ser de 1660 Amp. aproximadamente, y por la cantidad de metal a fundirse, recomendándose que sea siempre carga com- pleta en el molde, con las dimensiones mencionadas anteriormente. Un elec- trodo de 4 centímetros de diámetro requiere alrededor de 10 A/cm^2 ó 1300 - Amp. para fundirse a unos 20 kg/min.

La fusión por arco en vacío necesita que el electrodo sea de la compo- sición requerida, ya que éste es del tipo consumible, y tiende a desprender alguno de los elementos volátiles. No hay posibilidad de contaminación por los electrodos y el método de colada crece a una velocidad constante, alre- dedor de 0.5 kg/min., siendo la solidificación de superficie lisa y regu- lar, hace que la segregación y porocidad sean reducidas. En los lingotes - de gran tamaño, alrededor de 25 cm. son mejores y la reducción de segrega- ción, poros y rechupes y la destrucción y dispersión de las inclusiones, - son otras de las características de los aceros que se obtienen por el mé- todo de refusión al vacío.

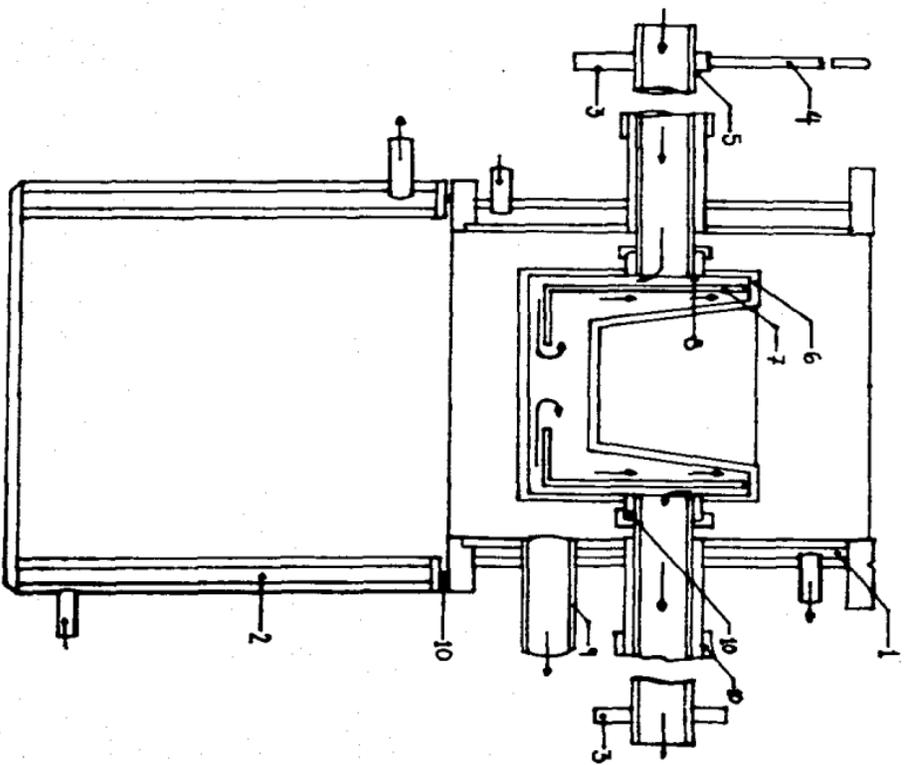


Figura 3.3.1

CRISOL Y CAMARA DEL MOLDE DE UN HORNO DE FUSION EN CASCARA.

- 1.- Cámara de la cuchara refrigerada.
- 2.- Cámara del molde refrigerado.
- 3.- Conexión.
- 4.- Mecanismo de basculación.
- 5.- Brazo de cuchara refrigerada.
- 6.- Revestimiento de la cuchara.
- 7.- Bafle cilíndrico.
- 8.- Bafle Elíptico.
- 9.- Tubería de vacío.
- 10.- Cierre de anillo.

3.4 Factores de seguridad.

Se producen accidentes fatales cuando se utiliza este método de fusión por arco al vacío. Como se mencionó el arco puede llegar a serpentear por la pared del molde, lo cual puede provocar la perforación del mismo, y permitir que el agua de refrigeración entre a la cámara, y si el agua se pone en contacto con el metal, se formará vapor cuya presión se elevará rápidamente, y poder provocar una explosión. En primer lugar tanto el molde como todas las partes refrigeradas por agua, deben proyectarse teniendo siempre presente este peligro para la seguridad. Una alta velocidad de bombeo es una salvaguardia contra una brusca elevación de presión. El horno puede estar provisto con un disco contra sobrepresión o de un dispositivo similar para liberar las presiones internas y controlarse a distancia por operadores separados de él por muros de protección de cemento.

La protección más necesaria es que el arco este bajo supervisión visual durante toda la fusión.

CAPITULO CUARTO

ANALISIS DEL PROCESO DE FABRICACION DEL IMPLANTE

CAPITULO CUARTO

ANALISIS DEL PROCESO DE FABRICACION DEL IMPLANTE

4.1 Mecanizado. Trabajo en frío.

La fabricación de implantes para la osteosíntesis es un proceso de mecanizado, es decir un trabajo en frío y con arranque de viruta. El equipo a utilizar consiste en tornos, taladros y fresadoras. Este equipo del tipo considerado máquinas herramientas, puede ser desde uno tan simple, hasta lo más sofisticado y automatizado que se quiera, según la producción.

Para la fabricación se dividiran los implantes en dos tipos. Las placas y los tornillos.

Fabricación de placas:

La materia prima para fabricar placas para la osteosíntesis, es acero inoxidable 316 LVR según la designación AISI (American Iron and Steel Institute) que son las siglas del Instituto Americano del Hierro y Acero; el cual es un acero austenítico endurecido por un trabajo en frío, el cual fué roiado en frío para formar soleras. Los rodillos con los cuales fué laminado el acero deberán de darle la forma curva en las caras anterior y posterior, esto es con el fin de evitar un prensado para que el blanco de implante tenga la forma necesaria, ya que un prensado podría crear microfracturas que darían focos donde se iniciarían brotes de corrosión. Ver figura 4.1.1.

Las soleras, es decir la materia prima, es cortada según el tamaño de implante a fabricar, esto se realiza con tolerancias dimensiona-

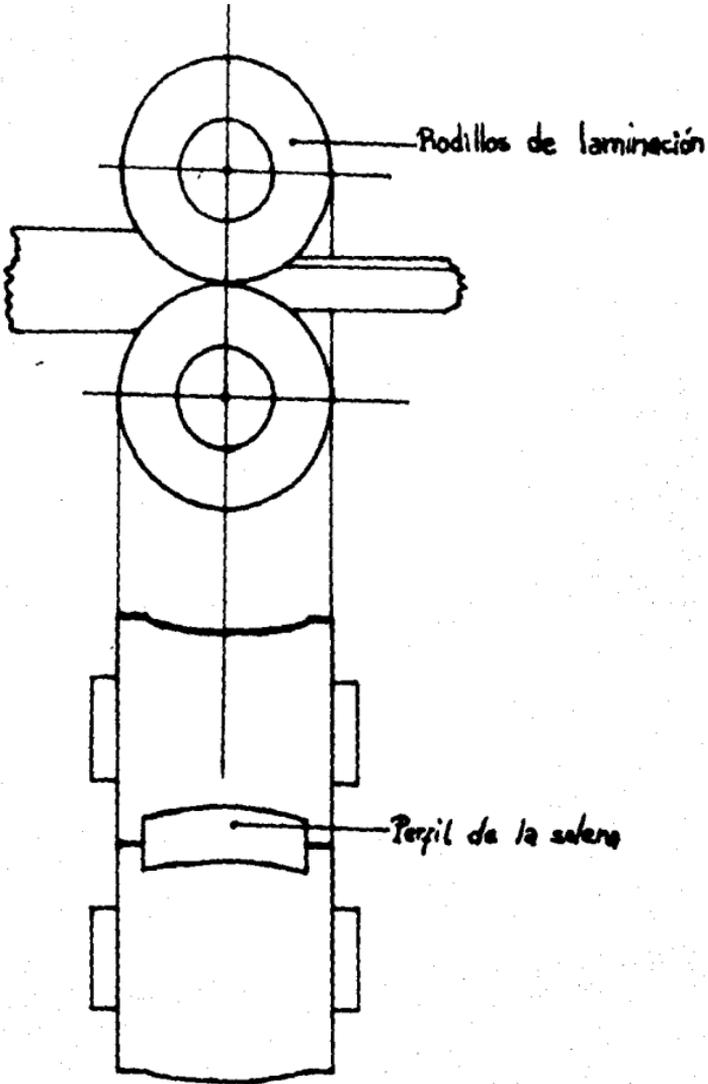


Figura 4.1.1

les unilaterales con el fin de dejar una variación admisible siempre mayor que la dimensión nominal, para poder rectificar, rebabear y pulir. - Las tolerancias unidimensionales son poco cerradas, ya que se desbastará el blanc.

Para desbastar las caras será necesario el utilizar una máquina fresadora, ésto es con el objeto de escuadrar las caras laterales y superior e inferior. Se deberá revisar un perfecto escuadramiento, además del asiento y radios; los asientos en una piedra de marmol y las dimensiones longitudinales y radios con instrumentos de medición; como calibradores, micrometros y relojes indicadores.

El blanc de implante es entonces rebabeado para evitar zonas punzantes o cortantes y de esta manera se encuentran listos para el mecanizado. El rebabeado se realiza con una máquina pulidora mecánica de cintas, siendo cintas de grano de $Al_2 O_3$ y densidad de 150. Ver figura 4.1. 2.

Después de obtener un blanc de placa se procederá a fabricar - los orificios. Existen tres tipo de orificios, que son: orificio circular, orificio ovalado y orificio ovalado del tipo PCD (placa de compresión dinámica).

1.- El orificio circular se realiza en implantes tanto del tipo placa angosta como placa ancha.

2.- El orificio ovalado se practica en los implantes del tipo-placa tubular de 1/2, 1/3 y 1/4 de tubo.

3.- Los orificios del tipo ovalados PCD se practican en los implantes denominados de autocompresión.

Los tres tipos de orificios se realizan en un centro de maquinado que consiste en una máquina herramienta del tipo taladro vertical o

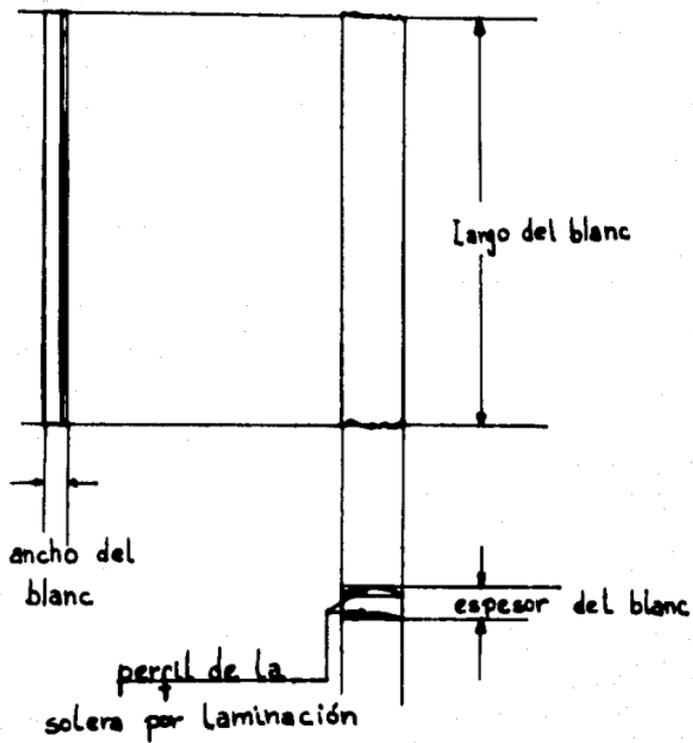


Figura 4.1.2

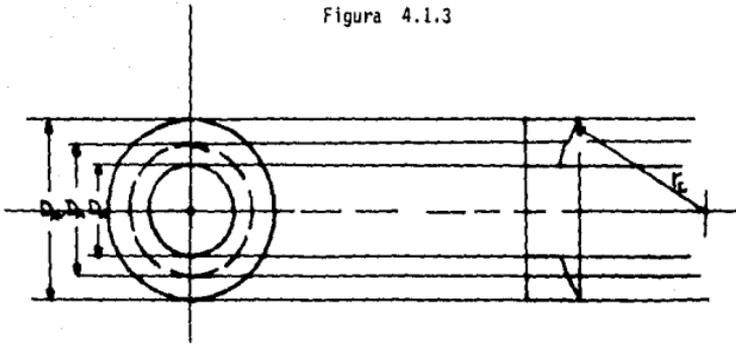
fresadora con torreta para varias herramientas o cortadores. Puede contener varios husillos para la realización de varias placas a la vez. Este taladro tiene tres grados de libertad, necesarios para realizar los orificios PCD. Los tres grados de libertad son en los ejes X, Y y Z.

En la fabricación del primer tipo de orificio, primeramente se colocan los blancos de implantes en la mesa de trabajo, deberán ser sujetos perfectamente con un previo nivelado, seguido de la colocación, nivelación y sujeción se procede a cortar o taladrar el orificio, éste será del diámetro nominal exterior del tornillo a usarse en ese implante con olgura para el paso fácil del tornillo. Ver tabla 4.1.1.

Una vez taladrado el orificio se procederá a realizar el avellanado y asiento de la cabeza. Para ésto se utiliza otro cortador, que será cambiado automáticamente por la torreta y lo colocará en el husillo. La herramienta (cortador de avellanado) realiza un corte con profundidad y diámetro del nominal de la cabeza esferoidal del tornillo correspondiente del implante, para profundidad el radio lo marca y para diámetro el diámetro de la cabeza. Una vez hecho el avellanado se cambia de herramienta y se coloca en el husillo la de asiento. Esta realiza un desbaste sumamente pequeño, que es del orden de las centésimas de milímetro. Para las placas tanto angostas y anchas que admiten tornillos de 6 y 4.5 mm. es de 0.05 mm. para placas -- que aceptan tornillos de 4 y 3.5 mm. es de 0.45 mm. y las placas que aceptan tornillos de 2.7 mm. es de 0.04 mm. una vez que el orificio ha sido terminado se pasa al ranurado y rebabeado. Ver figura 4.1.3.

Para la fabricación del segundo tipo de orificio, es decir, orificios ovalados, los cuales se realizan en placas del tipo tubulares se utiliza el centro de maquinado. La herramienta penetra en dirección del eje Z y

Figura 4.1.3



TIPO DE TORNILLO D_n D D_c r_c

Diámetro nominal 2mm.

" " 2.3 mm.

" " 3.5 mm.

" " 4.0 mm.

" " 4.5 mm.

" " 6.5 mm.

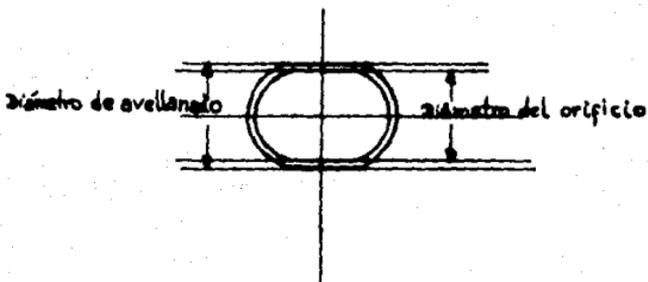


Figura 4.1.4

del eje Y, es decir que se mueve en las dos direcciones al mismo tiempo hasta que atraviesa la pieza y realiza un orificio de la forma oval. Ver figura 4.2.4. Este orificio se realiza en blancos que se obtienen de cortar un tubo de 12 mm. de diámetro en dos, tres o cuatro partes.

Para mecanizar el orificio del último tipo, es decir, el tipo PCD, se realiza con el mismo centro de maquinado que los anteriores siendo la penetración de la herramienta, es decir el avance en la dirección Z y además en la dirección Y. Esto es con la intención de dar la forma escalonada necesaria para la autocompresión, fenómeno que la placa tiene para cerrar las fracturas dejándolas a compresión. Los orificios serán -- unos izquierdos y otros derechos, ésto es con el fin de autocompresión.

Como los orificios circulares, los orificios del tipo PCD llevan un avellanado y asiento de la cabeza del tornillo. Esto se realiza -- una vez que se perforó totalmente el implante con el diámetro nominal -- del tornillo. La operación de avellanado se realiza con la herramienta -- de corte igual a la utilizada en el orificio circular. Por último recibe un rebabeado y rectificado de zonas punzantes. Ver figura 4.1.5.

Todos los implantes llevan una ranura en cada extremo, la -- cual sólo es en la cara posterior, para ésto se utiliza un cepillo vertical o ranuradora que puede cumplir con la misma tarea. Una vez que se ramuraron los implantes se rebabean con una pulidora mecánica para rectificar las esquinas y cantos para evitar partes cortantes. Además se pulen todas las superficies con una rectificadora de superficies planas.

Después de rectificarse los implantes son pulidos mecanicamente, para lo cual se utilizan cintas de Al_2O_3 de grano fino en tres eta--pas. (320, 440 y 500).

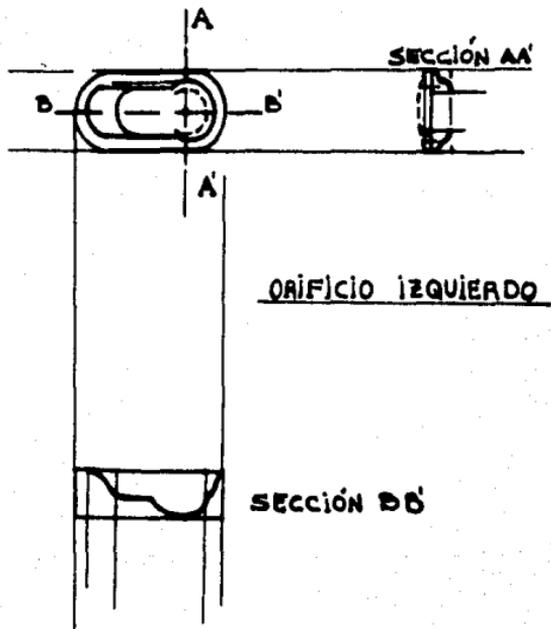


Figura 4.1.5

TIPO DE ORIFICIO	TOLERANCIA EN EL RADIO.	TOLERANCIA EN EL AVELLANADO.
Orificio circular	± 0.054 mm.	± 0.005 mm.
Orificio Oval	± 0.026 mm.	± 0.005 mm.
ORIFICIO PCD	± 0.054 mm.	± 0.005 mm.

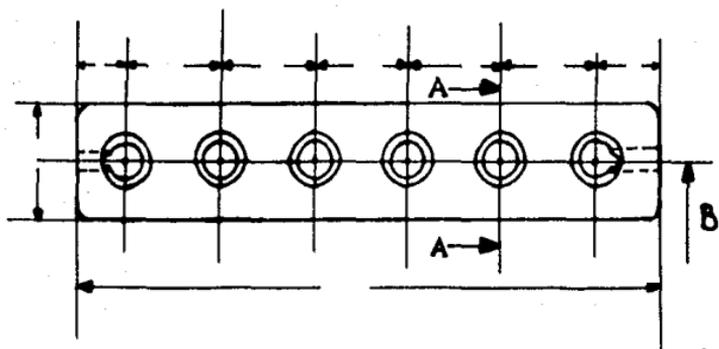
TABLA 4.1.1.

Fabricación de tornillos:

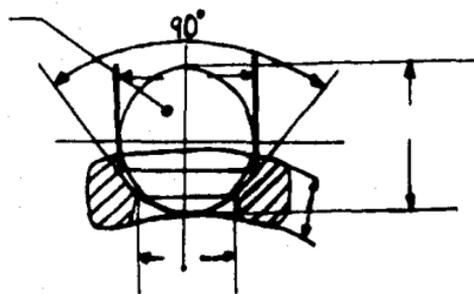
En la fabricación de tornillos para la osteosíntesis se utiliza como materia prima redondos de acero inoxidable 316 LVR, según la designación AISI. Este acero, al igual que las soleras para placas, es rolado en frío y por tanto obtiene su dureza por éste proceso. Ver figura 4.1.7.

Los redondos son cortados según la longitud del tornillo a fabricar, esto se realiza con un torno, el cual le da la forma a la punta y el diámetro de la cabeza.

Una vez que se tienen los redondos cortados a la longitud del tornillo a fabricar, éstos se pasan por una rectificadora para darle la forma al vástago, la cabeza y la punta. El material es desbastado en su parte central, lo que formará el vástago o cuerpo del tornillo para luego formar la cabeza esferoidal y la punta chata. Una vez que se obtiene un tejo de tornillo se procede a realizarle la entrada para destornillador. La entrada puede ser hexagonal (en el mayor de las veces), de una endidura o de endidura en cruz. Esta operación se realiza por punzonado. El punzonado se realiza en varias etapas que son rebabeado de la cabeza, perforado del centro, chareteado, pun

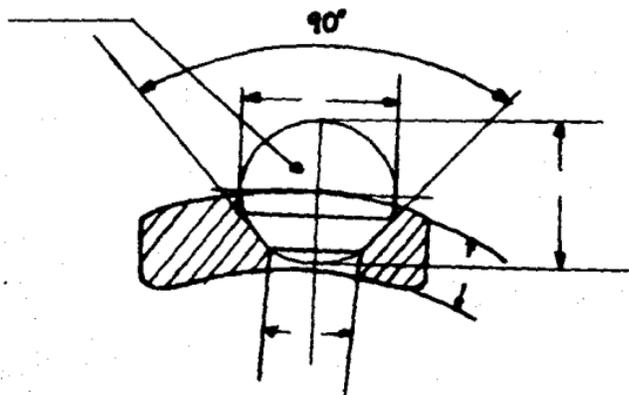
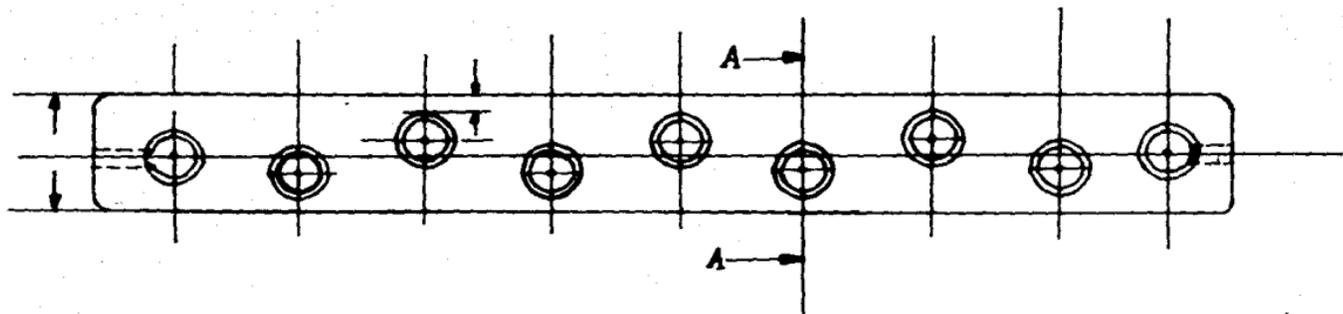


SECCIÓN AA



SECCIÓN B-B





SECCIÓN A-A

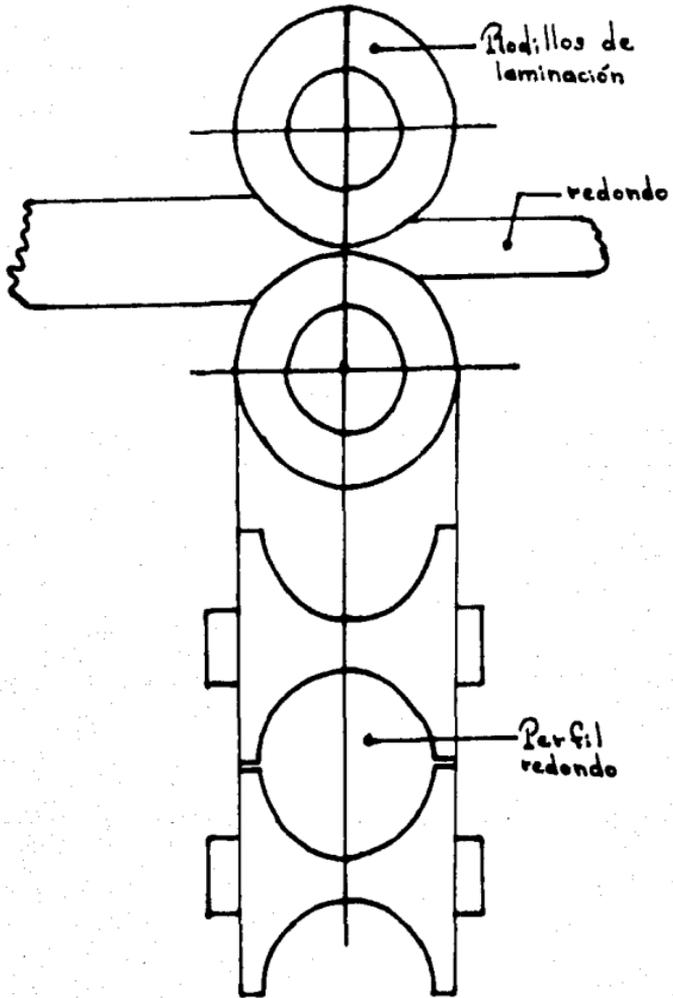
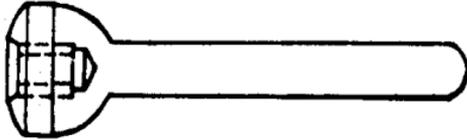


Figura 4.1.7

Tejo con entrada
hexagonal.



Tejo con entrada en
cruz.

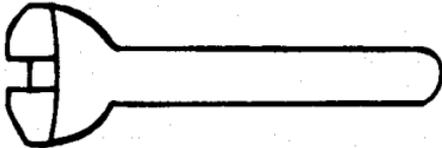


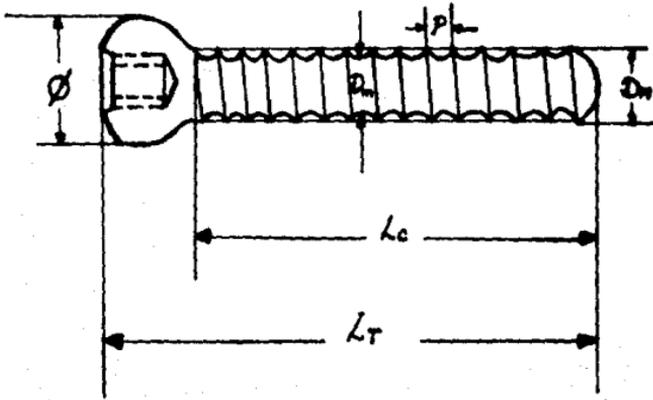
Figura 4.1.8

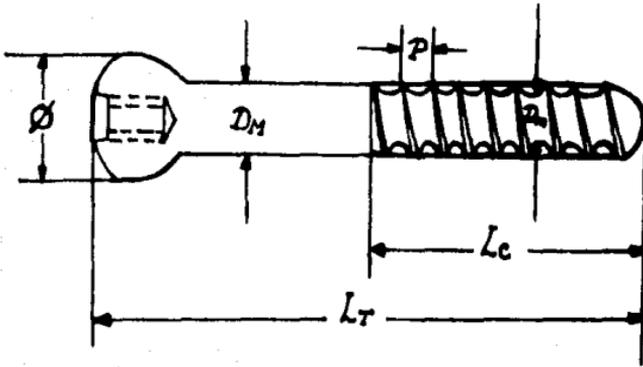
zonado del hexágono y por último rebabeado. Para esto se utiliza una máquina herramienta con diferentes cortadores tipo broca y un punzón que entra a una presión de 40 bars. Ver fig. 4.1.8.

La entrada para destornillados sólo será en cruz o de una sola entrada en los tornillos pequeños como los de diámetros de 2.0 mm. y en algunas veces de 2.7 mm.

En el fileteado de las roscas se utiliza una rectificadora, la cual es una máquina-herramienta que da productos de mejor calidad. Los tornillos para osteosíntesis requieren de una gran precisión. Existen dos tipos de roscas, la primera es la UNF que es un tipo fino que se realiza en aceros duros y semiduros, esta rosca evita la vibración y trepidación. Es para tornillos denominados del tipo cortical. La otra rosca es la de denominación UNEF, que es una rosca extrafina, la cual se utiliza en aceros duros y semiduros para filetear tornillos que se roscarán en lugares de paredes delgadas como es el caso de los huesos esponjosos y por tanto se utiliza en tornillos denominados esponjosos.

El fileteado de los tornillos es de rosca derecha y la muela tendrá el perfil de la rosca del tornillo y el ángulo de la misma. Para esto ver figura 4.1.9. El carro portapieza, es decir la muela, se mueve longitudinalmente para pasar toda la rosca, además se puede mover transversalmente para dar de una sola pasada toda la profundidad de la rosca. Para mayor facilidad se utilizan muelas cónicas que también logran de una sola pasada la rosca completa.





4.2 Procesos de Terminado.

Los implantes mecanizados y rebabeados lleban un proceso de pulimiento abrasivo. Estos procesos son para las placas: pulido mecánico abrasivo con ruedas de pasta y para los tornillos son procesos vibratorios o rotativos con piedras abrasivos cerámicas.

Las placas son pulidas manualmente con pulidoras mecánicas, en las cuales se montan ruedas de pasta con grano de Al_2O_3 en densidades de 120-150. Estas ruedas son de 15-25 mm. de espesor y de 200mm. de diámetro. Este pulimiento se realiza en todas las superficies de la placa con el objeto de dejar la superficie perfecta. Después de ser pulidas las placas se le da un abrillantado con ruedas de fibra de sisal .

Los tornillos son pulidos en máquinas vibradoras que tienen por objeto un pulido o terminado abrasivo. Para lo cual se utilizan piedras cerámicas de tamaños variados (según piezas a pulir), se colocan los tornillos en la máquina vibradora con una relación de 1:5 tornillos por piedras y se le añade lubricante y agua, en una relación de 1:10 en volumen, siendo lubricantes alcalinos e incluso se podrá utilizar sosa caústica. El tiempo de vibredo es de 0.06 minutos por tornillo. Ver tabla 4.2.1

PASTAS LUBRICANTES O

ABRASIVOS	DESCRIPCION	DIMENSIONES	CARACTERISTICAS
Rueda de pasta Raymann grano 120		200x15 mm.	grano Al_2O_3
Rueda de pasra Artifex grano 150		200x25 mm.	grano Al_2O_3
Lubricante neutro	KH 65	7.2 pH	superficie brillante
Lubricante ácido	GB 13	2.9 pH	Superficie fina
Lubricante Básico	B 2	10 pH	Limpieza profunda
Piedra cerámica	PI	20x10x7 mm.	Lstrella y cilindro

TABLA 4.2.1

4.3 Superacabados. Procesos electroquímicos.

Después de que los implantes han sido pulidos se pasa a los superacabados. Estos consisten en procesos electroquímicos superficiales que tienen por objeto pasivar el implante.

Es importante señalar que para lograr un perfecto electropulido y pasivado es muy importante la limpieza de las partes a electropulir, por tanto el primer proceso previo a los superacabados es el desengrase.

Desengrase. Para un perfecto desengrase se utiliza el método de ultrasonido, el cual consiste en colocar los implantes en una solución alcalina y generar una onda sonora. Para lograr generar ésta onda sonora se utiliza un generador con una capacidad de $5W/cm^3$ de solución alcalina.

El ultrasonido realiza el proceso de limpieza por el método de cavitación, el cual consiste en ondas sonoras de alta frecuencia - (86 400 ciclos/segundo) que crean zonas de baja presión, formándose burbujas que al haber cambios de presión explotan y de esta manera penetra la solución alcalina (pH 13-14), en todo el implante, logrando una limpieza óptima. La solución alcalina está formada por 5 kg de soda cáustica por cada 100 litros de agua.

Posterior al desengrase por ultrasonido se realiza un aclarado, el cual consiste en la inmersión de los implantes en agua corriente a temperatura ambiente y luego un neutralizado en solución ácida - (pH 3-4), la cual consiste en 5% de ácido muriático y 95% de agua en volumen. Esta solución de neutralizado deberá estar a 70°C y con burbujeo constante. Ver figura 4.3.1.

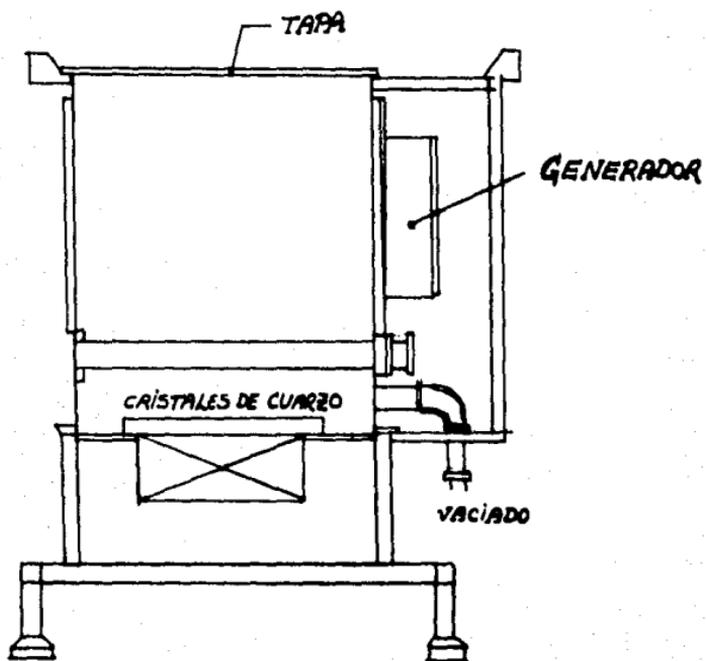


Figura 4.3.1

Propiedades del Freon T-DA 35X

General

Densidad del líquido	⊗	25°C	1.559 kg/dm ³
Tensión superficial	⊗	25°C	17.5 mN/m
Color			Claro

Seguridad

Punto de inflamación			Ninguno
----------------------	--	--	---------

Energía

Punto de evaporación			47.7°C
La energía se incrementa de los 24°C al punto de evaporación			33.1 kJ/t
Energía necesaria para convertir líquido en vapor			229.5 kJ/t
TOTAL de energía para lograr la evaporación del fluido pasivador			262.5 kJ/t

TABLA 4.3.1

Secado. Una vez que los implantes fueron limpiados, desengrasados y neutralizados son secados. Esto es con objeto de evitar ataques -- por las sustancias alcalinas y ácidas. Para lograr un perfecto secado se utiliza un equipo de secado por freon. Este equipo consiste en tres tinas de freon líquido que esta calentado para lograr evaporarse. Esto es con el objeto de un mejor secado a las piezas. Tiene también un serpentín -- por el que corre agua de enfriamiento para lograr condensar el freon y -- así evitar grandes pérdidas de freon. Las piezas se inmersian en el -- freon dejándolas unos cuantos segundos, para luego dejarlas otros segundos en la zona de vapores y lograr un perfecto secado. El freon 11, el -- freon 22 son muy utiles para este tipo de procesos y son conocidos como flourcarbono y trifluoretano respectivamente. Ver figura 4.3.2 y tabla - 4.3.1.

Electropulido. El electropulido es el proceso electroquímico - superficial que consiste en pasar una carga de corriente eléctrica de ba ja tensión y alta densidad de corriente. Esta corriente eléctrica está - basada en la superficie a electropulir y en las dimensiones del tanque - en volumen de solución. La densidad de corriente es de 30 Amp/dm^2 y la - tensión es de 7-15 Volts. Se colocan los implantes en el ánodo y se tie- nen unos cátodos que son de cobre por lo menos, aunque se recomienda que sean de titanio. Una capa anódica de metal se forma sobre la superficie del implante cuando se pasa esta corriente eléctrica, dando así la bri- llantez, superficie lisa y la protección a la corrosión. Para lograr es e perfecto electropulido se requiere una solución de ácido fosfórico en 25% y ácido nítrico en un 75% en volumen, la cual debe tener un pH - 2-3 y una densidad de 1.68 gr/cm^3 a 60°C que es la temperatura de tra bajo. Ver figura 4.3.3 y tabla 4.3.2.

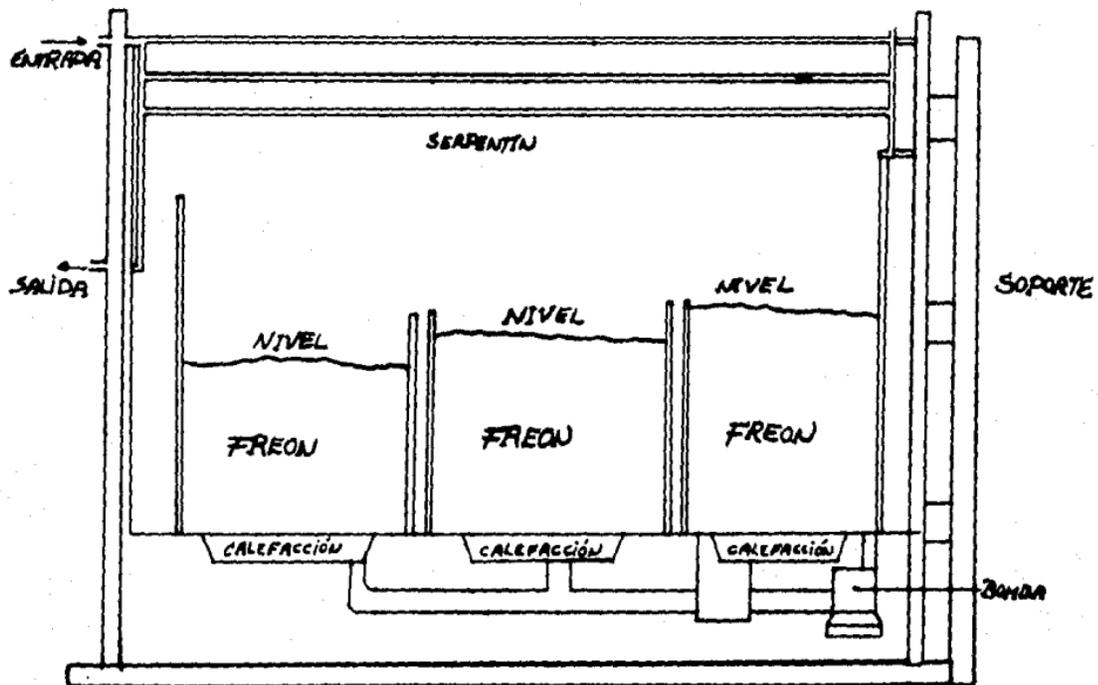


Figura 4.3.2

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

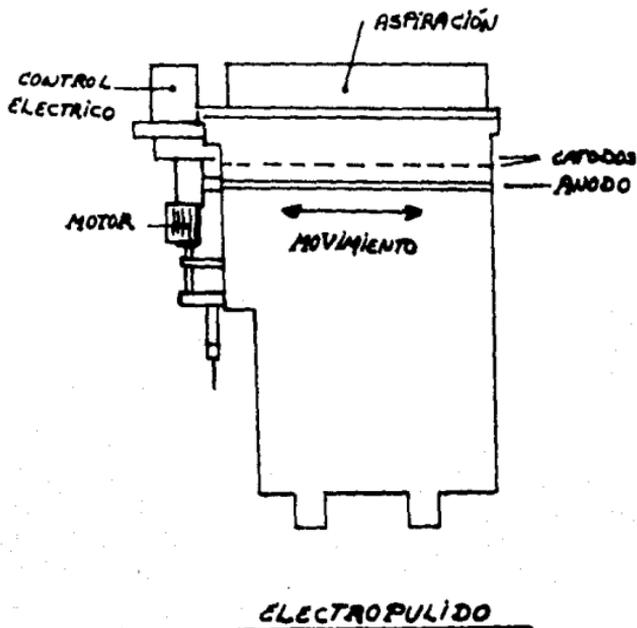


Figura 4.3.3

VIDA DEL ELECTROLITO (AMP/HORAS/LITROS)	CONTENIDO DE METAL (GR.)	DENSIDAD	
		20°C	60°C
30	10	1.69	1.68
50	16.0	1.75	1.72
100	31.4	1.77	1.73
150	46.1	1.79	1.75
200	60.0	1.82	1.78
250	73.4	1.83	1.79
300	82.0	1.86	1.82
350	97.9	1.88	1.84
400	109.1	1.91	1.90

TABLA 4.3.2

Una vez que se electropulieron los implantes se sigue el mismo proceso que se siguió después del desengrase, es decir; se aclaran en -- una tina de agua a temperatura ambiente, después se neutralizan en una tina de ácido nítrico y agua en 5% y 95% en volumen respectivamente a -- una temperatura de 70°C y por último se secan con freon para pasar al pa sivado.

4.4 Tratamiento Final. El Pasivado.

El pasivado de un metal es un proceso electroquímico superficial que sirve para la protección contra la corrosión del metal. La corrosión es el proceso de oxidación del metal. El metal, por medio del proceso de pasivación es convertido a un estado de corrosión. La corrosión en el estado pasivo se manifiesta por una capa muy delgada del mismo metal, la cual se forma con objeto de evitar la continuidad de oxidación en el metal y así darle una protección. Para lograr dar éste estado pasivo existen varios medios, como son electrolitos, los cuales son sustancias ácidas como ácido nítrico, ácido fosfórico ó ácido sulfúrico.

El proceso de pasivado tiene por objeto proteger al metal -- contra la corrosión y para lo cual se utiliza una cuba electrolítica que a través de un paso de corriente eléctrica se anodiza el implante, para formar una capa de metal, la cual se desprende del mismo implante para cubrirlo y así protegerlo contra la corrosión.

Existen varios factores que tienen gran importancia para lograr un perfecto pasivado, como son el electrolito, el tiempo de permanencia, la densidad de corriente y la temperatura del baño. Por ejemplo el tener un baño a una temperatura entre 60 a 90°C, decese la velocidad necesaria para el neutralizado e incrementa la velocidad para la formación de la capa protectora. La densidad de corriente y el voltaje están estrechamente ligados con el pulido del implante. Cuando se incrementa el voltaje, se incrementa la densidad de corriente, existiendo un punto crítico que es de 5-10 volts y 30-50 Amp/dm² para obtener un perfecto pulido y lograr formar una capa anódica, lo suficientemente gruesa para pasivar al implante.

Al igual que el electropulido los cátodos y ánodo serán de cobre, aunque se recomienda el uso de titanio para procesos continuos por que existe menos desprendimiento de metal, que se encontrará en el electrodo y disturbaría su función como medio pasivador, además de tener una mayor resistencia a la corrosión y por tanto duran más. Ver figura 4.4.1.

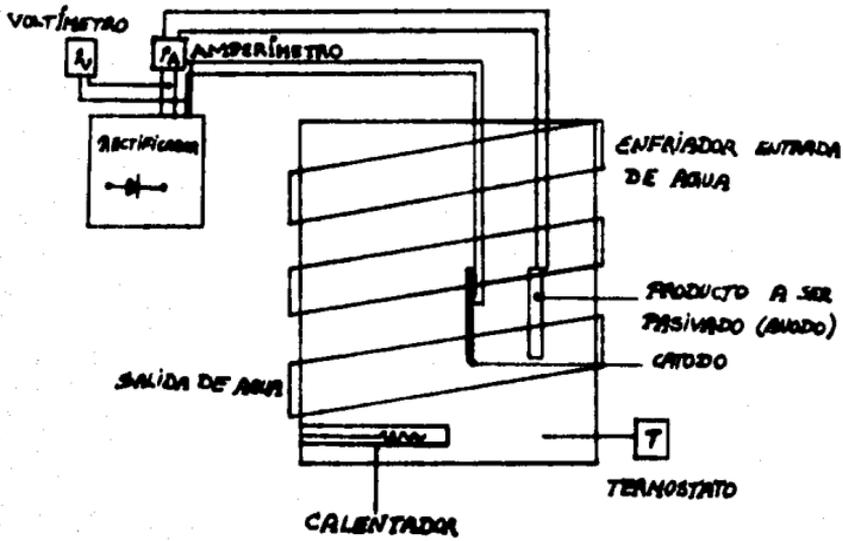


Figura 4.4.1

4.5 Calidad de la Maquinaria y Herramental.

Para la fabricación de implantes para la osteosíntesis se utilizan varios tipos de máquinas-herramientas que se requieren de la máxima precisión por la gran calidad que requieren los implantes. Los criterios para escoger las máquinas-herramientas son el tamaño, forma y composición del implante; las especificaciones (tolerancias) y las dimensiones. La cantidad y calidad son criterios importantes. Todos los anteriores se les aplica una tolerancia, que entre más cerrada, más calidad implica para la máquina-herramienta. La maquinaria que se utiliza en la fabricación de implantes para la osteosíntesis es la siguiente:

- A.- Tornos Mecánicos Paralelos.
- B.- Fresadora Universales.
- C.- Sierras Cortadoras.
- D.- Ranuradoras.
- E.- Taladros. Centro de maquinado de placas.
- F.- Rectificadoras de Roscas.
- G.- Equipo diverso para el Aseguramiento de la Calidad y diversos tipos de cortadores.

LOS TORNOS MECANICOS PARALELOS. Es el tipo de torno más representativo en esta familia de máquinas-herramientas. Se utiliza para la conformación de los tejos de tornillos. En la fabricación de implantes se requiere de una gran precisión, por tanto se requiere de una máquina-herramienta precisa. La automatización y la utilización de husillos múltiples o de tornos automáticos del tipo revólver dan mayor productividad y calidad.

Pero la parte más importante más importante para dar la mejor calidad a las piezas terminadas no es sólo el torno, es principalmente la herramienta de corte y su correcto afilado. Los diferentes materiales han dado como resultado una mayor vida a las herramientas y un mejor y corte más preciso. Primeramente con la aparición de aceros rápidos, después con las aleaciones fundidas y endurecidas con carburos cementados y ahora las herramientas de cerámica que con su relativa dureza dan unos cortes mucho más finos y precisos, además de aumentar la duración de la herramienta.

El filo y la inclinación de corte, debe de ser en la herramienta siempre para el sentido de corte, de tal forma que el desbaste en el mecanizado sea con corte.

LAS FRESADORAS UNIVERSALES. Este tipo de máquinas-herramientas son muy versátiles, ya que con ellas se puede maquinar casi cualquier forma de pieza, aún en tamaño. Para la fabricación de implantes es útil para escuadar alinear y dar paralelismo a las placas, además es útil en la fabricación de roscas. Tiene un gran uso en la fabricación de herramientas de uso en general y para reparar otras. Se utiliza además en la perforación de orificios de las placas y aún en las ranuras. Como ya se dijo la máquina-herramienta fresadora por su versatilidad maneja un número casi infinito de fresas o cortadores, que según la función de corte, será su forma, tamaño, etc. es por esto que la variedad de cortadores para máquinas fresadoras es casi infinito, pero se pueden resumir en tres grandes grupos que son: fresas cilíndricas, fresas cónicas y fresas de forma.

Al igual que los cortadores para torno, la parte importante de la fresa es el filo, para lo cual se han caracterizado las fresas con navajas o cuchillas intercambiables, las cuales dan un mayor tiempo de vida a la herramienta y mejor calidad de corte.

SIERAS CORIADURAS. Este tipo de máquinas se utilizan para cortar las soleras y los redondos al tamaño inicial de placas y tornillos con sus respectivas tolerancias, el tipo de sierra que se utiliza es la sierra de disco. Esta máquina-herramienta tiene la característica que el avance de la herramienta (la sierra), es de giro sobre su eje y transversalmente a la pieza a cortarse. El utilizar una sierra del tipo de disco, se otorga la facilidad de cortar superficies redondas como planas.

RANURADORAS. Este tipo de máquina-herramienta pertenece al grupo de las cepilladoras, en la modalidad de verticales. Para ranurar las placas, se utiliza una máquina ranuradora que su operación consiste en arrancar linealmente la viruta de la superficie plana. Este arranque de viruta es con una herramienta muy parecida a la del torno. La herramienta es del tipo monocortante.

Las herramientas de corte para cepillos y ranuradoras son de forma muy parecida a la de las de los tornos. El filo es en un sólo extremo que se coloca en dirección del avance de la máquina. Este tipo de máquina-herramienta, la pieza es la que tiene el movimiento transversal y la herramienta tiene el movimiento de alimentación.

TALADROS UNIVERSALES. CENTRO DE MAQUINADO DE LAS PLACAS. Se utilizan para la perforación de los agujeros de las placas. Son muy parecidos a los taladros radiales, con la diferencia de que pueden ser colocados en cualquier posición. Este tipo de centros de maquinado, pueden taladrar en cualquier dirección, por tener tres grados de libertad en las direcciones de los ejes X, Y y Z. Pueden colocarse muchos tipos de cortadores, según el trabajo que se le haga a la pieza, siendo así su forma, tamaño del mismo. Los cortadores al igual que las fresas tienen una gran variedad, que es según el trabajo a realizar. Al igual que todas las herramientas de corte

lo más importante es el filo, para lo cual se debe de cuidar que el filo sea el necesario y que la herramienta de corte no presente despostilladuras, ranuras o grietas; lo cual podría dar una mala calidad en el corte.

RECTIFICADURAS DE ROSCAS. Son máquinas-herramientas que dan la mejor calidad en la fabricación de roscas para tornillos. Esta formada por un portapiezas el cual tiene un movimiento transversal para dar incluso la total profundidad de la rosca. Esta parte de la máquina gira alrededor de su propio eje. La herramienta de corte, denominada muela, va sujeta por un carro, el cual puede tener inclinación para así poder dar cualquier ángulo a la helice del tornillo. Este carro que avanza longitudinalmente puede avanzar transversalmente.

Las muelas de rectificado necesitan tener un repaso para que pueda dar su óptima calidad de corte. Para esta operación se utilizan diamantes industriales. A tal fin se emplea un aparato apropiado que obliga al portapiezas de diamante a seguir un camino determinado. Primeramente rectifica un lado de la muela según el ángulo deseado; después se corrige la curva según un cierto radio, y finalmente se rectifica el otro lado simétricamente al primero.

4.6 El Empaque.

Los implantes y tornillos deberán ser empacados después de haber pasado por el aseguramiento de control de calidad. Para los implantes el empaque deberá de ser individual. Para los tornillos se puede hacer en estuches de cinco o diez tornillos. Según el tamaño y forma el empaque -- puede ser de las siguientes formas:

A.- Empacado individualmente en tubo de polietileno de alta densidad. Este se utiliza en placas rectas y tubulares de gran tamaño.

B.- Empaque unitario, el cual es en un estuche múltiple de cinco o diez espacios, de polietileno y plástico transparente de alta densidad - para implantes del tipo y dimensiones pequeñas como los tornillos. Se utiliza para tornillos de cualquier tipo y tamaño.

C.- Empacado individualmente en bolsa de polietileno de baja densidad. Se utiliza en placa rectas y tubulares de tamaño pequeño.

El empaque deberá contener al igual que los implantes, el logotipo del fabricante, las dimensiones, número de serie del fabricante y leyenda de haber sido fabricado en México.

4.7 Pruebas a implantes con diferentes superacabados.

Los superacabados son tratamientos superficiales que tienen por objeto proteger al implante de la corrosión ya que no es suficiente - la utilización de un acero inoxidable para la fabricación de los implantes, por el medio tan ácido en donde se implantarán (el cuerpo humano), - requiere de un tratamiento superficial que evite la oxidación.

Entre los superacabados que se le pueden hacer a los implantes y combinaciones de éstos, se realizó un estudio en laboratorio y sus resultados. El medio en que se probaron los implantes fue agua con un alto porcentaje de salinidad y se obtuvo una gráfica tiempo-tensión. Esta - gráfica nos indica la pasividad, actividad y repasivación de un implante dentro de un medio ácido como lo es el cuerpo humano. El experimento fue como sigue:

Relación pasiva tiempo-tensión en H_2O saturado al 9% de salinidad y a $37^{\circ}C$ de temperatura. Se obtuvo un potencial en los rangos de los milivolts.

Los tratamientos superficiales o superacabados que fueron - investigados fueron:

- 1.- Pulido con baño de carburo de silicio o carborundo (SiC), vibrado.
- 2.- Baño de SiC + Pasivado con HNO_3 al 30% en volumen, $60^{\circ}C$ de temperatura, durante 30 minutos.
- 3.- Baño de SiC + Electropulido + Pasivado.
- 4.- Baño de SiC + electropulido.
- 5.- Baño de SiC + electropulido + esterilizado al vapor.

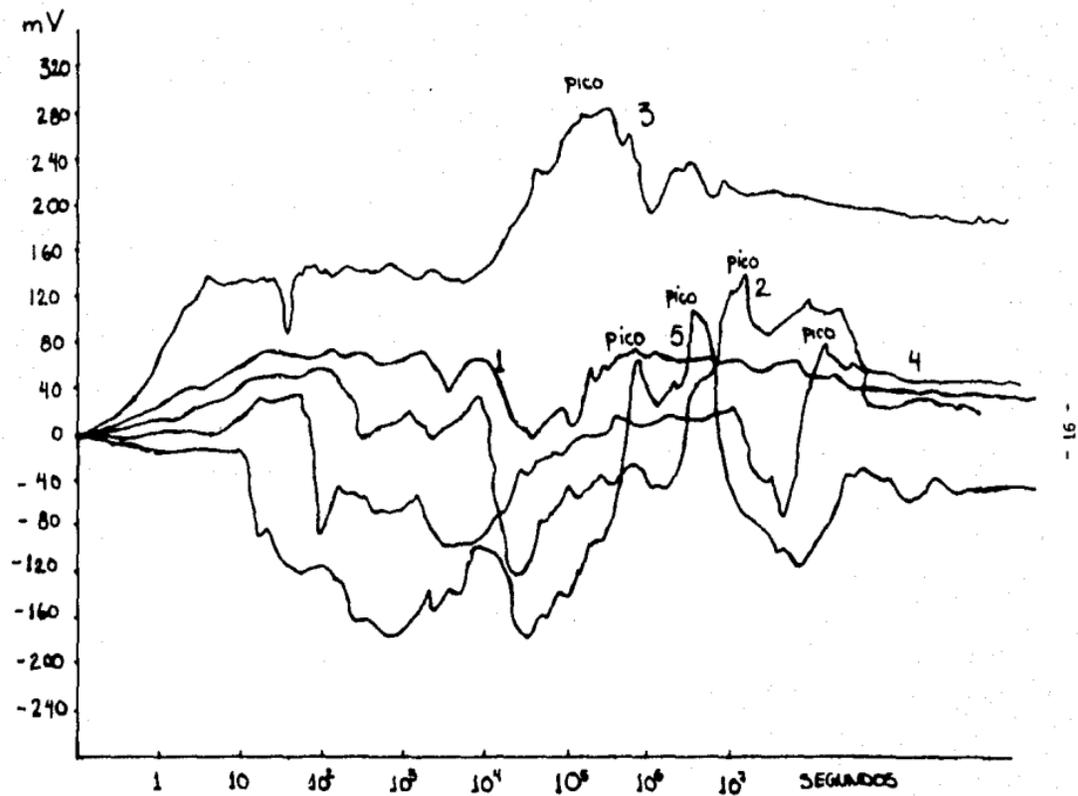


Figura 4.7.1

El potencial suficiente para que el implante presentara picadura es el siguiente:

- 1.- Baño de SiC.....155mV.
- 2.- Baño de SiC + Pasivado.....264mV.
- 3.- Baño de SiC + Electropulido +
Pasivado.....270mV.
- 4.- Baño de SiC + Electropulido.....120mV.
- 5.- Baño de SiC + Electropulido +
Esterilizado.....125mV.

El potencial fué medido inmediatamente después de que apareció la primera picadura. Se observó que se encontraba en un estado mucho más pasivo los implantes que habían sido electropulidos y pasivados, además de tomar mayor tiempo para presentar la primera picadura.

La gráfica de la figura 4.7.1, nos muestra los tres estados que un metal puede presentar que son: el activo, pasivo y la repasivación y --reactivación, cuando se encuentra en un medio altamente corrosivo como lo es un medio de prueba (9% de salinidad). Este experimento es sumamente valioso, ya que nos muestran las curvas como diferentes superacabados, o las combinaciones de los mismos nos dan una mayor resistencia a la corrosión. Las medidas y resultados son entre los 10 segundos y no más de los 10^6 segundos que es cuando se presentan las primeras picaduras. Esta prueba da como resultados puntos muy importantes como los picos o cambios en las curvas, observándose que una curva muy estable y sin tantos cambios es la curva del implante que fue electropulido y pasivado.

La carga que pasa a través de los implantes durante el proceso de prueba, que calculada con la cantidad de polvo de metal que suelta y se oxida a través de las curvas en los primeros 900 segundos. Resulta que para el que fué pasivado es menor la carga ($0.41 \mu\text{C}/\text{mm}^2$) y para el que no lo fué es mayor ($3.0 \mu\text{C}/\text{mm}^2$). Esto en comparación con la carga necesaria para mover un átomo de una sola molécula es de $6 \mu\text{C}/\text{mm}^2$ a lo que también equivale $1 \mu\text{C}/\text{mm}^2$ al soltar 3×10^{-4} grs. de metal, siendo sumamente fino el metal que resulta durante los primeros 15 minutos. La cantidad de polvo que se tira decrece en un factor mínimo de 100 cuando se encuentra entre 1 y 10 000 segundos, pero sigue tirando.

Es por tanto importante realizar varios tratamientos superficiales al implante antes de pasivar, pues dan una mejor resistencia a la corrosión los implantes electropulidos y pasivados, que sólo electropulidos o sólo pasivados.

CAPITULO QUINTO

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

CAPITULO V

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

5.1 Pruebas para el aseguramiento de la calidad de la Materia Prima.

El aseguramiento de la calidad, es vital, en la fabricación de - implantes para cirugía ósea. El programa de aseguramiento de la calidad - esta por arriba de las normas, aunque éstas son la base primordial.

Los criterios para el aseguramiento de la calidad en la materia prima son los siguientes:

- Composición Química.
- Proceso de Fusión y Refusión.
- Propiedades Mecánicas.
- Estructura Metalográfica.
- Estado de la superficie.

5.1.1 Composición Química.

Se debe realizar un análisis de calor, para determinar la -- composición química del acero 316 LVR, la cual dentro de la norma F 55-76 de ASTM y la norma F 56-76 de ASTM que son para acero inoxidable en barra- y alambre, y para lámina y solera, respectivamente; señala dentro del punto 6.1 y 6.2 que debe de tener:

ELEMENTO	COMPOSICION EN %	
	GRADO 1	GRABADO 2
Carbono	0.08 máx.	0.03 máx.
Manganeso	2.00 máx.	2.00 máx.
Fósforo	0.03 máx.	0.03 máx.
Azufre	0.03 máx.	0.03 máx.
Silicio	0.75 máx.	0.75 máx.
Cromo	17.00-20.00	17.00-20.00
Níquel	12.00-14.00	12.00-14.00
Molibdeno	2.00-4.00	2.00-4.00

TABLA 5.1.1.1

Aunque la norma es muy flexible por lo general se debe de ser mucho más estricto en cuanto a las inclusiones no deseables como las de óxidos y sulfuros. Por tanto los contenidos de fósforo y azufre deben de ser menores de 0.025 % y 0.010 % respectivamente.

5.1.2 Proceso de Fusión y Refusión.

El acero inoxidable 316 LVR lleva un proceso de doble fusión bajo arco y con alto vacío, el cual le da características muy espe^{ci}ales al acero, que son principalmente la desaparición de inclusiones no metálicas, mejores propiedades mecánicas y pureza.

Para determinar que el acero tuvo un proceso de doble fusión las pruebas metalográficas (vista del grano bajo el microscopio),

y las pruebas mecánicas (tensión, compresión y torsión) revelan el método de obtención del acero.

Propiedades de resistencia a la rotura

	Simple fusión	Doble fusión
	en	en
	vacío	vacío
Tiempo hasta la rotura	61 horas	119 horas
Alargamiento	5.2 %	13.1 %
Estricción	8.0 %	15.7 %

TABLA 5.1.2.1

Es evidente que las propiedades tanto químicas como mecánicas tienen una mejora al haber una doble fusión. La necesidad de un material libre de impurezas que el cuerpo humano no lo admita es lo que lleva a realizar una doble fusión bajo arco eléctrico y al vacío.

5.1.3 Propiedades Mecánicas.

El acero que se fabrica bajo el proceso de refundido - bajo arco al vacío, es rodado en frío el cual le da características mecánicas muy especiales.

La deformación en frío, provoca que no existan tensiones internas, ni concentración de esfuerzos, sólo los que se notarán al

rededor de los orificios de placas, una vez que haya mecanizado al implante.

El refundido provoca que no presente precipitaciones intergranulares, lo que podría producir rotura por fatiga o ataque de ácidos y corrosión.

Contiene una estructura limpia de cualquier otra fase que no sea la austenítica, es decir libre de fase ferrita y ferrita delta.

Las pruebas que se realizan para detectar las diferentes características mecánicas que son particulares de este acero refundido bajo arco al vacío son:

CONDICION	ULTIMO ESFUERZO A LA TENSION (kg/cm ²)	LIMITE DE FLUENCIA (kg/cm ²)
Rolado frío	7 800	4 200
Rolado y trabaja en frío	8 800	7 100

TABLA 5.1.3.1

Teniendo características superficiales de:

Alargamiento en % 12 mínimo.

Dureza Rockwell C 28-34

Esta dureza deberá conservarla el implante después de haber sido sometido al mecanizado, con tolerancia que no salga de los 28 a 34 Rockwell C.

Por lo general los aceros inoxidables austeníticos se magneti

zan cuando son sometidos a grandes deformaciones, sin embargo la composición del acero 316 LVR no se magnetiza al ser sometido a grandes tensiones por la presencia de molibdeno y el bajo contenido de impurezas - tanto metálicas como no metálicas.

El acero no debe presentar corrosión bajo tensión, es decir, durante la prueba o ensayo a la tensión no debe presentarse corrosión - al sujetarse a esfuerzos de tensión hasta la rotura.

Se deberá contar con máquinas para ensayos a la tensión, con durómetros en escala Rockwell B y C, además de instrumentos de observación como lupas y microscopio e instrumentos de medición como micrómetros y verniers.

5.1.4 Estructura Metalográfica.

El acero deberá ser pasado por un análisis metalográfico, el cual se realiza bajo el proceso de reflexión al microscopio de - una muestra pulida con lijas de diferentes calibres (de menos a más fina), y atacada con soluciones ácidas. La muestra de acero una vez pulida a espejo con lijas que van desde las de 0 hasta las de 0000 se le da un acabado con un disco giratorio de fieltro comprimido al cual se le - añade un abrasivo de alúmina (21 partes) con agua (89 partes). La superficie pulida es atacada con una solución alcohólica de ácido nítrico (50 gr. de ácido nítrico con 250 gr. de alcohol). Esta revela la estructura metalográfica del acero, así como impurezas. Deberá ser una estructura austenítica libre de cualquier otra fase. El tamaño de grano será igual

o menor al designado en la norma E 112-63 ASTM, evitándose todo material con tamaño de grano mayor, ya que en caso de ser mayor a éste (número 5) pierde resistencia a la tracción y flexibilidad necesaria para el implante.

El acero 316 LVR refundido no presenta inclusiones longitudinales como se puede observar en la figura 5.1.4.1.

Según la norma F 138-76 ASTM, en el inciso 7.2 dice que el contenido de inclusiones no debe sobrepasar:

TIPO DE INCLUSION	Sulfuros	Aluminas	Silicatos
FINA	1.5	1.5	1.5
GRUESA	1.0	1.0	1.0

TABLA 5.1.4.1

5.1.5 Estado de la Superficie.

La superficie del acero deberá estar libre de inclusiones y defectos hechos durante el proceso de fabricación. Estos son chequeados visualmente y si es posible a lupa.

5.2 Puebas de Aseguramiento de la Calidad del Implante en Proceso.

Los exámenes de aseguramiento de calidad de los productos semi-acabados realizan en todo el suministro o en un determinado porcentaje del mismo, ya que son clasificados por lotes para mayor facilidad de control, según el tipo de ensayo que le sea aplicado. El control incluye ensayos magnéticos, control metalográfico de la estructura, medidas de dureza y resistencia a la compresión, tensión y fatiga, así como ensayos de corrosión bajo tensión. El material que no cumple con los requisitos que se predeterminan en los ensayos, no se elabora. Las pruebas de corrosión intercrystalina son ya poco usuales desde hace tiempo, ya que no tienen ningún sentido debido a la calidad de los materiales actuales.

El más importante ensayo que se produce al material en proceso es el dimensional, habiendo tolerancias que si son violadas no se seguirá procesando. Según la norma F 337-71 de ASTM para dimensiones y tolerancias de placas, las tolerancias son las siguientes:

TIPO DE DIMENSION	TOLERANCIA
Largo	+ 1,59 mm.
Ancho	± 0,40 mm.
Espesor.....	± 0,25 mm.
Angulo	± 2°
Distancia entre orificios	± 0,40 mm.

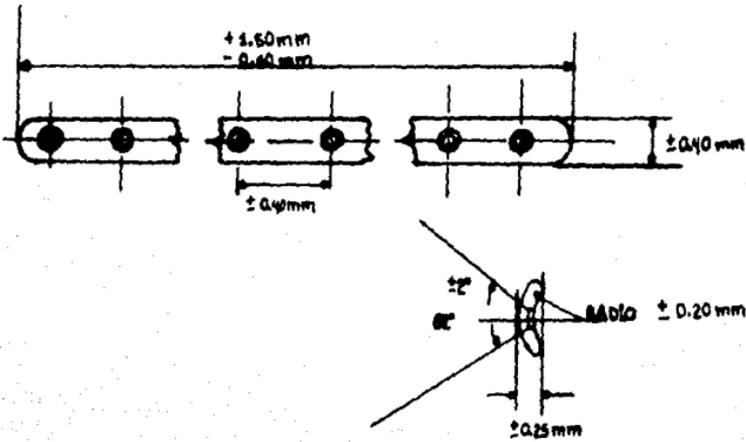
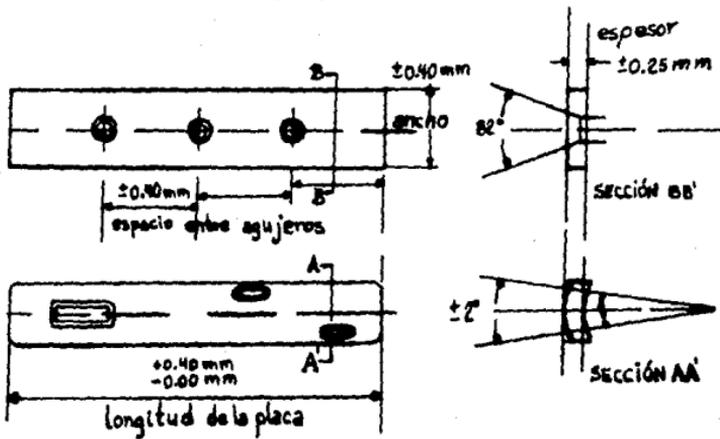


Figura 5.2.1

Se recomienda que las tolerancias sean de preferencia positivas -- (unidimensionales positivas), ya que en los procesos de terminado y superacabados (pasivado), existe un desprendimiento de metal.

Para la realización de pruebas dimensionales se utilizan tres instrumentos principalmente, aunque existen otros que refuerzan a los primeros. Para medidas en placas se utiliza el vernier y el micrómetro, -- además de transportadores universales y para los tornillos se utilizan los comparadores ópticos, los cuales funcionan con la reflexión de la luz, la cual provoca que se refleje la imagen del tornillo en una pantalla y se compara con una gáfica; también se utilizan peines para checar la cuerda del tornillo, así como calibradores para revisar la cabeza y la entrada hexagonal.

Para las pruebas mecánicas se utilizan máquinas de ensayo de tensión y compresión, así como máquinas para pruebas de fatiga; se utilizan durómetros para las pruebas de dureza.

En las pruebas químicas-metalográficas se utilizan abrasivos y soluciones ácidas de ataque así como microscopios para conservar las mismas características físicas, químicas, metalúrgicas y mecánicas que cuando era materia prima.

5.3 Pruebas Finales Para el Aseguramiento de Calidad.

Un aseguramiento en la calidad de los implantes para la osteosíntesis es de suma importancia ya que se trata de un producto para la cirugía del cuerpo humano. Las pruebas finales, por tanto, serán con gran detalle, siendo del tipo estadístico, es decir por lotes, y algunas serán para todos y cada uno de los implantes.

Una vez que los implantes han pasado por los procesos de terminado y superacabados, estos serán identificados por lotes, según sea su corrida o del grupo de materia prima de la cual hayan sido procesados; serán marcados todos los implantes en el costado; especificando el número de lote al cual pertenece, dimensiones y el número de clave de identificación. Es bueno que se ponga un sello o logotipo del fabricante.

Una vez marcados pasan a las pruebas de control de calidad -- siendo de dos tipos, que son: Las pruebas no destructivas y las destructivas, las primeras se le hacen a todos los implantes, siendo éstas las Físicas. Las segundas se hacen a un grupo de implantes de un lote, siendo las pruebas Químicas y Mecánicas.

5.3.1 Pruebas no Destructivas.

Las pruebas no destructivas son las denominadas pruebas físicas, que son principalmente pruebas que se realizan visualmente para checar acabado superficial y dimensional.

Para poder checar dimensiones y tolerancias de implantes y tornillos se utilizan instrumentos de medición y comparadores --

que faciliten el chequeo, además de instrumentos de aumento para facilitar, donde el ojo humano no es capaz de llegar. Las pruebas dimensionales y de tolerancia para placas para huesos son descritas en las normas F 337 y F 338-71, donde graficamente se describen las dimensiones y sus respectivas tolerancias. Serán practicadas las mediciones, después de haber sido terminado totalmente el implante, es decir, después de los tratamientos finales.

Para realizar las mediciones anteriores, lo más fácil es realizarlo con instrumentos de medición estándares como verniers, micrómetros ayudados de lentes de aumento para facilitar la medición. En un proceso de producción en serie se pueden realizar moldes donde simplemente entren las placas y con sensores electrónicos marquen las dimensiones y el error en el caso de existir.

Para mayor claridad se recomienda ver las figuras correspondientes, figura 5.3.1.1, figura 5.3.1.2 y figura 5.3.1.3.

En el chequeo dimensional de tornillos deberá ser mucho más profundo, ya que existe mayor probabilidad de error, sobre todo en la cuerda del tornillo. Para esto se utilizan comparadores ópticos, que por medio de luces, transmiten la imagen del objeto a una pantalla con un gran número de ampliaciones.

Las normas que rigen las dimensiones y tolerancias de los tornillos son: F 114, F 115, F 117, F 343, F 344 y F 345. Las dos primeras hablan del cuerpo del tornillo y de la cabeza y las restantes del tipo de cuerda.

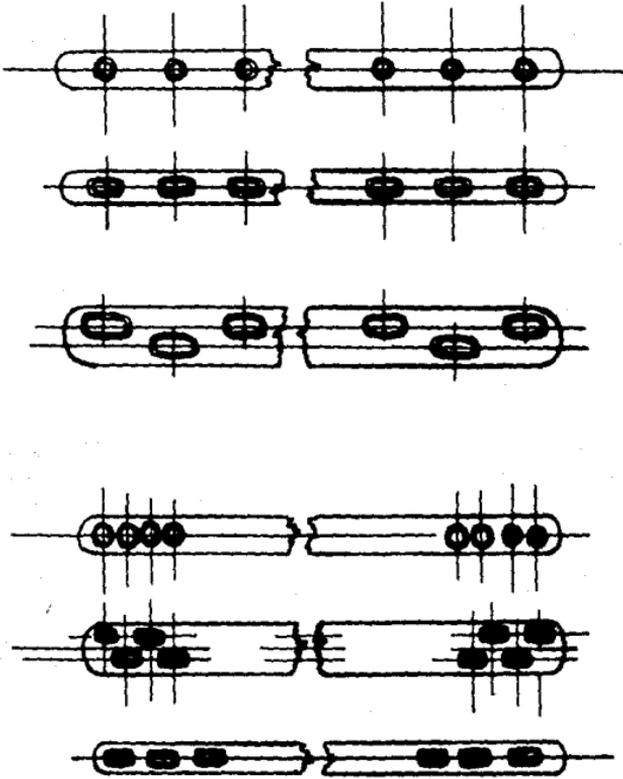


Figura 5.3.1.2.3.

La norma de ASTM F 114-69 dice que las especificaciones y recomendaciones que hace, son para tornillos para la osteosíntesis hechos de acero inoxidable y que son de tres tipos principales:

Tipo I No. 6M..... Tornillo para osteosíntesis

Tipo II No. 7M..... Tornillo para osteosíntesis

Tipo III No. 8M..... Tornillo para osteosíntesis

Deberán ser especificados en dimensiones y tolerancias según se muestran en sus respectivas figuras.

La norma ASTM F 115-69 hace una clasificación según el tipo y sus dimensiones las cabezas de los tornillos siendo estas las siguientes:

Tipo I.....Una sola endidura con cabeza oval.

Tipo II.....Endidura en cruz con cabeza oval.

Tipo III.....Endidura hexagonal con cabeza oval.

Las normas ASTM F 342, 343, 344 y 345-71 hablan de los diferentes contornos a hilos de tornillos para osteosíntesis, así de sus medidas y tolerancias que en la figura se dará mayor claridad.

Tipo..... 0.10-17 UNC-2A-LH

Tipo..... 0.25-17 UNF-2B-LH

Tipo..... 0.17-17 UNF-2A

Por tratarse de diferentes tipos de usos en los tornillos existen varios tipos de roscas que en el caso de los tornillos para la osteosíntesis se utilizan la UNF que es la rosca general, sin importar mucho la vibración y la más importante la rosca UNEF, que es la rosca fina de vibración importante y ajuste cerrado para evitar movimiento.

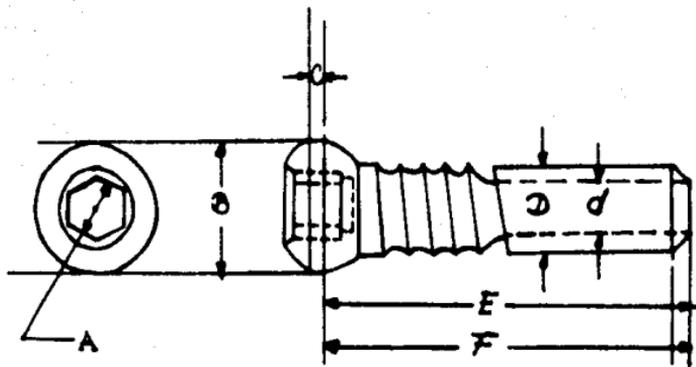


Figura 5.3.2.1.

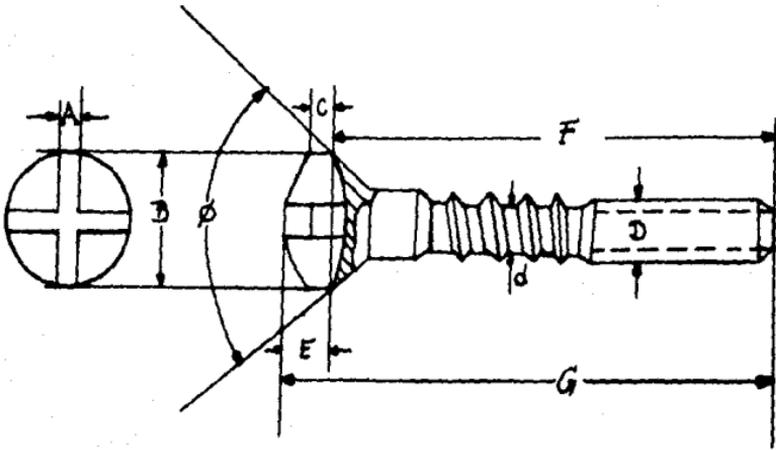
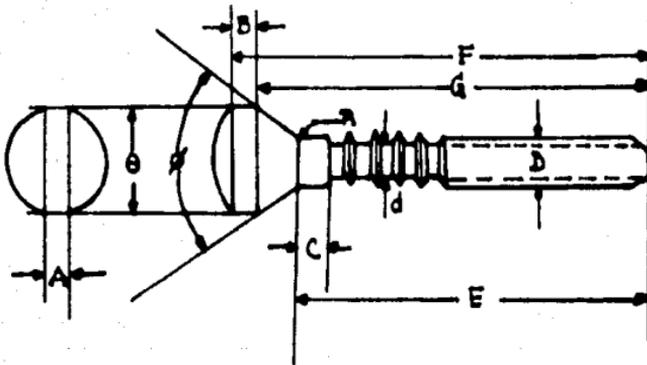


Figura 5.3.2.1.



La demás nomenclatura significa por ejemplo:

0.50-17 UNF-2A-LH

0.50:diámetro nominal de 0.50 in (1.27cm.)

17:número de hilos dentro de una pulgada (2.54 cm.)

UNF:tipo de rosca.

2A:tipo de tolerancia. Tolerancia sin juego

LH:giro a la izquierda.

Para mayor claridad ver las figuras correspondientes.

Las pruebas visuales se realizan a todos y cada uno de los implantes y tornillos para checar su terminado superficial evitando así aprobar un tornillo o implante grietas o maltrato durante el maquinado, - lo cual pueda ser algún foco donde se inicie corrosión. Para estos exámenes se utilizan lentes de aumento, microscopio y penetrantes ácidos que determinen tonalidades y cambios de color para poder visualizar poros, - grietas y maltrato del implante.

El someter un implante a un penetrante ácido en solución salina al microscopio se notan depósitos parduscos de zonas agrietadas, -- que darán inicio de corrosión.

5.3.2 Pruebas Destructivas.

Las pruebas destructivas se realizan a los implantes solamente a un grupo que se escogen al azar del lote esto se realiza lote con lote y como su nombre lo indica son pruebas en la que los implantes ya no podrán servir en su propósito principal, pero los resultados obtenidos son de valiosos registros para el fabricante y el médico. Las pruebas destructivas son de dos tipos principalmente, las primeras son las denominadas mecánicas y las segundas son del tipo de químicas.

TIPO DE IMPLANTE	DESIGNACION ASTM	DIMENSION O TOLERANCIA
Tornillo cortical con cabeza oval y entrada hexagonal.	0.15 UNF-2A	2.7 mm. de dia. 3.5 mm. de dia. 4.0 mm. de dia. 4.5 mm. de dia.
Tornillo esponjosa con cabeza oval y entrada hexagonal.	0.25-17 UNEF-2A	4.0 mm. de dia. 6.5 mm. de dia.
Tornillo malleolar con cabeza oval entrada hexagonal y punta autoroscante	0.17-17 UNF-2A	4.5 mm. de dia.
Placas rectas	F 337-71 F 338-71	
Placas anchas y las placas angostas de autocompresión	F 341-71	

TABLA 5.3.1.1 Tipos y Dimensiones

5.3.2.1 Pruebas Mecánicas.

Las pruebas mecánicas son pruebas destructivas, las cuales identifican las propiedades mecánicas del implante que desde que son materia prima son muy particulares y que muchas veces con el trabajo de mecanizado, éstas se mejoran.

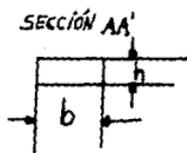
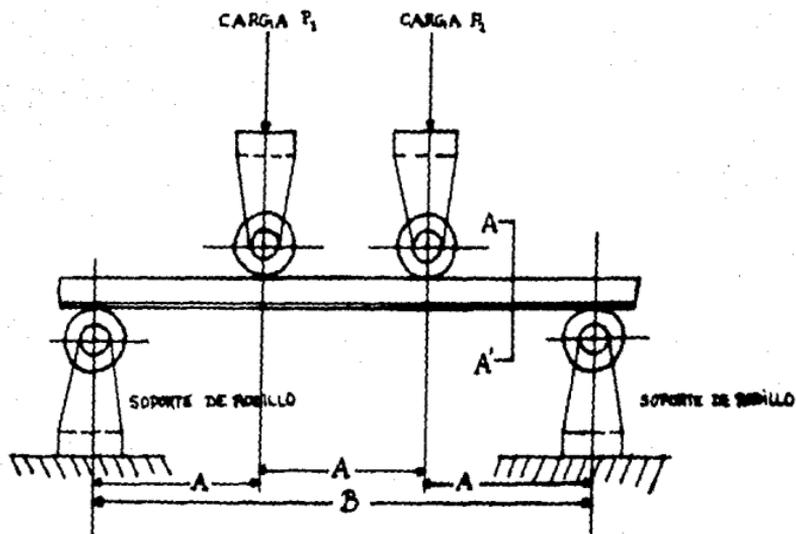
El material es sometido a un endurecimiento por trabajo en frío, lo que es necesario, ya que si no los implantes no resistirían a las exigencias del cuerpo humano. Es por esto que las placas y los tornillos no deben doblarse durante el proceso de cura.

Existen normas y especificaciones sobre la resistencia mecánica. Las especificaciones no valen por sí solas ya que la ductilidad, el alargamiento y la estricción de rotura deben de mantenerse dentro de ciertos límites que garanticen propiedades mecánicas satisfactorias.

Las pruebas mecánicas que se realizan a los implantes deben de estar por arriba de las normas establecidas. Las pruebas que se realizan son principalmente: pruebas de tensión y compresión, pruebas de dureza del material, pruebas de fatiga del implante, pruebas de resistencia a la torsión de los tornillos, el grado de deformación que limita las características necesarias y por la resistencia a la corrosión, pruebas de flexión y punto de rotura, pruebas a los rayos X para ver las tensiones internas y esfuerzos concentrados.

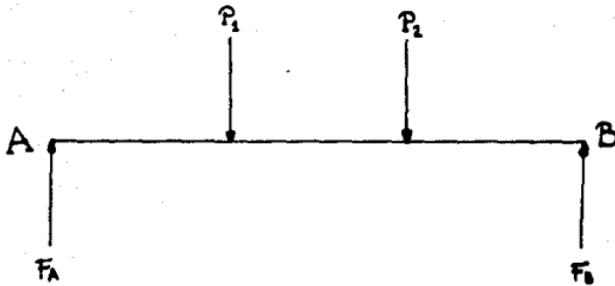
La norma ASTM F 382-73, especifica claramente la prueba de flexión para placas. La norma estandariza la prueba para las diferentes placas del tipo rectas.

La fuerza de flexión será tal que produzca una deflexión en el centro de la placa de 0.13 mm. Si existen muestra de fractura antes



A	B	b	h
38 mm	114 mm	8 mm	3 mm

Figura 5.3.2.1



$$P_1 = P_2$$

$$\sum F_y = 0 = F_A - P_1 - P_2 + F_B$$

$$F_A + F_B = P_1 + P_2 \dots \textcircled{1}$$

$$\Rightarrow \sum M_A = 0 = 3.8 P_1 + 7.6 P_2 - 11.4 F_B$$

$$3.8 P_1 + 7.6 P_2 = 11.4 F_B \dots \textcircled{2}$$

De la ecuación $\textcircled{1}$

$$2 P_1 = F_A + F_B \dots \textcircled{3}$$

De la ecuación $\textcircled{2}$

$$\cancel{11.4} P_1 = \cancel{11.4} F_B$$

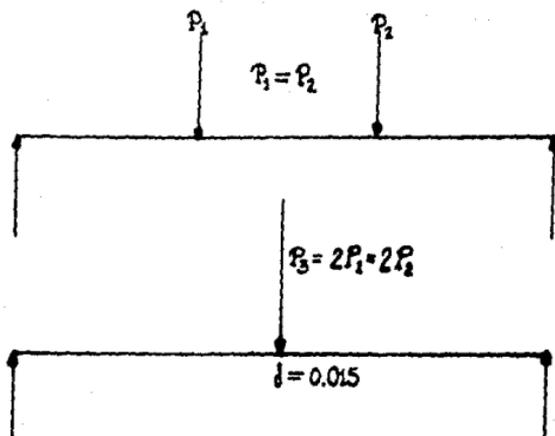
$$P_1 = F_B \dots \textcircled{4}$$

Sustituyendo $\textcircled{4}$ en $\textcircled{3}$

$$2 F_B = F_A + F_B$$

$$F_B = F_A \dots \textcircled{5}$$

$$F_A = F_B = P_1 = P_2 \dots \textcircled{6}$$



$$F = K\delta$$

$$K = \frac{48EI}{l^3}$$

$$P_3 = \frac{48EI}{l^3} \delta$$

$$P_3 = \frac{48 \times 1.968 \times \frac{15 \times 0.50^3}{12}}{11.4^3} \times 10^6$$

$$P_3 = 996.26 \text{ Kg}$$

$$P_1 = \frac{P_3}{2} = \frac{996.26}{2} = 498.13 \text{ Kg}$$

$$0 \leq x \leq 3.8$$

$$M_{x=0} = 0$$

$$M_{x=3.8} = 3.8 F_1$$

$$3.8 \leq x \leq 7.6$$

$$M_x = x F_A - P_1 (x - 3.8)$$

$$\begin{aligned} M_{x=3.8} &= 3.8 F_A - P_1 (3.8 - 3.8) \\ &= 3.8 F_A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{x=7.6} &= 7.6 F_A - P_1 (7.6 - 3.8) \\ &= 3.8 F_A \end{aligned}$$

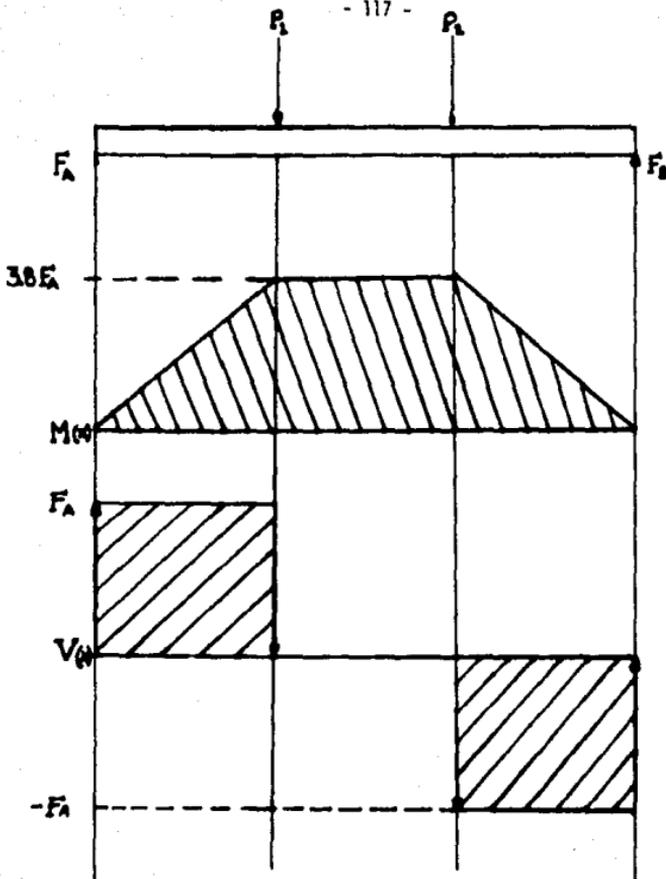
$$7.6 \leq x \leq 11.4$$

$$M_x = x F_A - F_1 (x - 3.8) - F_2 (x - 7.6)$$

$$\begin{aligned} M_{x=7.6} &= 7.6 F_A - F_1 (7.6 - 3.8) - F_2 (7.6 - 7.6) \\ &= 3.8 F_A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{x=11.4} &= 11.4 F_A - F_1 (11.4 - 3.8) - F_2 (11.4 - 7.6) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Momento $3.8 F_A$



$$\sigma_{\max} = \frac{M c}{I} \quad I = \frac{b h^3}{12}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{3.0 F_A \times 0.25}{\frac{1.5 \times 0.50^3}{12}} = 60.8 F_A = 30,286.30 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{V Q}{I b}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_A \times 0.25 \times 1.5 \times 0.25}{\frac{1.5 \times 0.50^3 \times 1.5}{12}} = 4 F_A = 1,992.52 \text{ Kg/cm}^2$$

de llegar al punto máximo de deflexión el implante será rechazado.

La rigidez en la flexión deberá ser la cantidad de fuerza aplicada durante la prueba proporcional a la cantidad de deformación producida por la carga.

Ductilidad funcional será la deflexión que sufra una placa en el instante antes de romperse.

Para realizar la prueba de flexión es necesario dos soportes de rodillo colocados a una distancia de 11.4 cm. y dos puntos de carga separados entre sí a 3.8 cm. las cargas serán iguales en magnitud y también serán aplicadas con rodillos de un diámetro no mayor de 1.27 cm.

Para mayor claridad ver la figura 5.3.2.1.

La prueba de tracción se realiza también a los implantes terminados y resulta de ésta una gráfica esfuerzo deformación como la representada en la figura 5.3.2.2. Sus valores más importantes son los siguientes:

CONDICION	ULTIMO ESFUERZO A LA TENSION (kg/cm ²)	LIMITE DE FLUENCIA (kg/cm ²)	PUNTO DE ROTURA (kg/cm ²)
Rolado en frío.	7 800	4 200	5 900
Rolado y trabajado en frío.	8 800	7 100	7 800

Módulo de elasticidad o de Young E.....1.96 x 10⁶

La prueba de dureza se realizará con un durómetro que sea de la escala Rockwell de preferencia, pero se podrá realizar con la escala Brinell. Estos aparatos para medir la dureza son penetradores que miden la profundidad con una carga ya establecida por unidad de área de penetración.

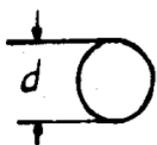
Dureza Rockwell C28-34

Dureza Brinell280-330

La prueba de fatiga es una de las más importantes en las pruebas mecánicas, ya que es una de las principales causas de rotura. Los implantes no son prótesis, se han diseñado de tal manera que no sean demasiado blandos, ni demasiado rígidos, ni desplacen demasiado a los tejidos. Actúan como puentes de estabilización para mantener la reducción. Es decir, que la placa fija la reducción de la fractura por compresión interfragmentaria. Durante su uso el implante deberá estar sujeto a cargas de esfuerzos cíclicos producidos por el paciente, es por esto que deberán estar repartidos en toda la placa, ya que de lo contrario sufrirá carga de flexión y llegará a producirse fatiga y la correspondiente rotura. Es por esto que los implantes son sometidos en el laboratorio a cargas cíclicas producidas por medios mecánicos para asegurar su confiabilidad en la duración de su vida útil. La gráfica 5.3.2.3 muestra el comportamiento de las probetas sometidas a cargas cíclicas durante un tiempo.

Unas imágenes por rayos X muestran un caso de rotura por fatiga a causa de una mala osteosíntesis, habiendo sido sometido el implante a un esfuerzo de flexión con una carga cíclica debido a la falta de un apoyo medial. Esto condujo a una rotura de la placa por fatiga. Las

$$\sigma = \frac{P}{A} = \text{kg/cm}^2$$



$$A_0 = \frac{\pi d^2}{4} = 0.785 d^2$$

$$A_0 = 1.13 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{9950}{1.13} = 8800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} = 8800 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_0 = \phi 1.2 \text{ cm} \quad L_0 = 5.0 \text{ cm}$$

$$A_1 = \phi 0.9 \text{ cm} \quad L_1 = 5.8 \text{ cm}$$

$$\frac{(A_0 - A_1) 100}{A_0} = \frac{(1.44 \text{ cm}^2 - 0.81 \text{ cm}^2) 100}{1.44 \text{ cm}^2}$$

$$\% = 43.7 \%$$

$$\frac{(L_1 - L_0) 100}{L_0} = 16 \%$$

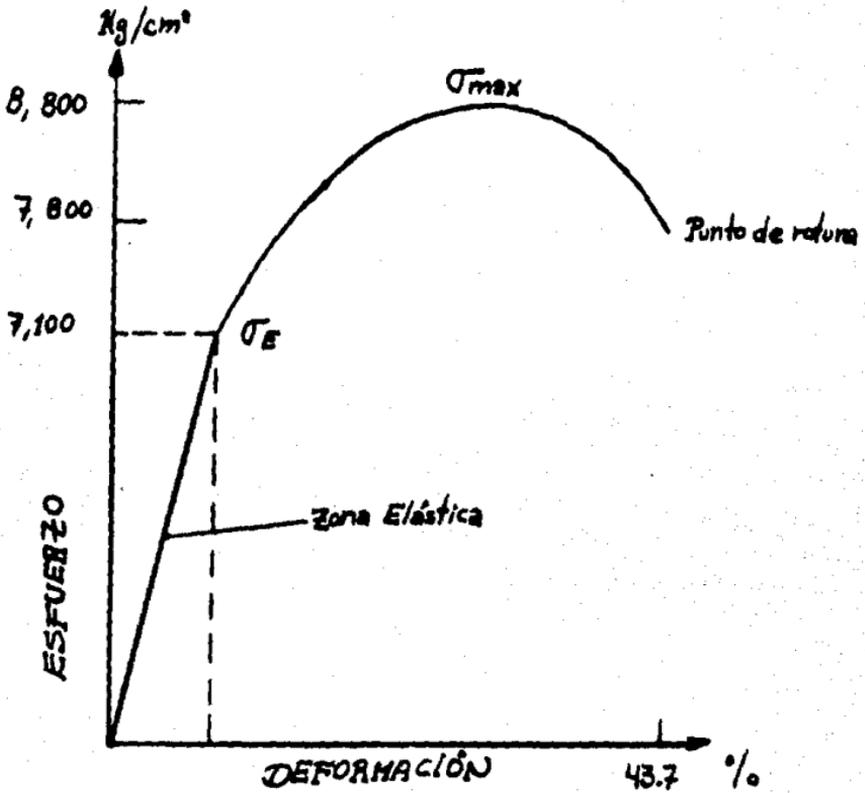


Figura 5.3.2.2

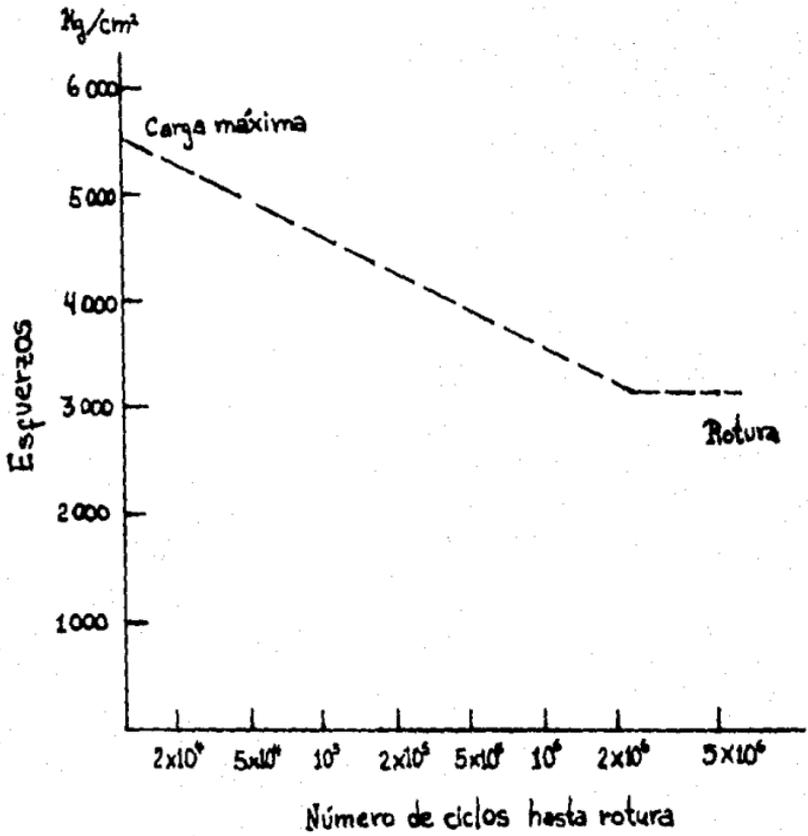


Figura 5.3.2.3

siguientes micrografías (figuras 5.3.2.4,5,6,7), muestran el desarrollo de una fisura por fatiga. En el caso de que fuerzas de flexión excedan un cierto límite aparecen en la superficie del implante líneas de deformación. Bajo cargas continuas, en distintos granos se originan fisuras iniciales que forman una grieta. Esta grieta se desarrolla poco a poco en la superficie y se prolonga con velocidad creciente a través del implante (límite de fatiga).

La micrografía electrónica de barrido permite reconocer los distintos ciclos de carga en las líneas de fatiga donde cada línea estructural representa un ciclo de carga o paso del paciente. Figura ---- 5.3.2.8.

TIPO DE FUSION DEL ACERO.	CARGA MAXIMA (kg/cm ²)	LIMITE DE FATIGA. (kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA FATIGA (ciclos)
Simple fusión	4200	2 812	5 x 10 ⁶
Doble fusión	5500	3 163	5 x 10 ⁶

TABLA 5.2.3.2 Resistencia a la Fatiga.

La prueba de torsión por torque que realiza a los tornillos para cirugía ósea. Esta prueba se encuentra normalizada por ASTM F 117-69, la cual estandariza el método dando recomendaciones para métodos de pruebas fijas determinando el torque para inserción de tornillos para hueso.

Este tipo de pruebas se realizan en laboratorio y es por esto que los resultados no son necesariamente el torque que se debe utilizar para insertar el tornillo en el hueso. El propósito de la prueba es tener una buena uniformidad de un producto terminado.

Las diferentes partes que conforman la prueba de torsión son las siguientes:

El fijador del tornillo. El tornillo debe colocarse en un fijador que sostenga al tornillo rigidamente para evitar la deflexión o deformación durante la prueba.

Dispositivo de torque. Es el encargado de proporcionar la fuerza de torque. Este dispositivo deberá de proporcionar la fuerza suficiente para hacer penetrar al tornillo en el bloque de prueba. Deberá contener un indicador graduado en kg-cm, N-mt o lb-in.

Anillo guía. Este anillo es de metal como latón o cobre. El tornillo penetrará a él con un ángulo de 90°. El anillo guía es previamente taladrado para que exista la menor fricción entre el tornillo a probar y el anillo guía. Los anillos que se encuentren en malas condiciones deberán ser reemplazados por nuevos.

Bloque de prueba. El bloque de prueba debe tener un agujero previamente taladrado de una dimensión tal que el tornillo entre forzado. Una división se incorporará entre el bloque de prueba y el anillo guía, la cual no deberá deformarse cuando es penetrada por el tornillo.

Tornillo a probar. Este tornillo deberá estar completamente terminado aun con sus tratamientos finales.

El bloque de prueba es de una resina acetálica inyectada en un molde a presión. Las superficies deberán ser lisas, planas y parale-

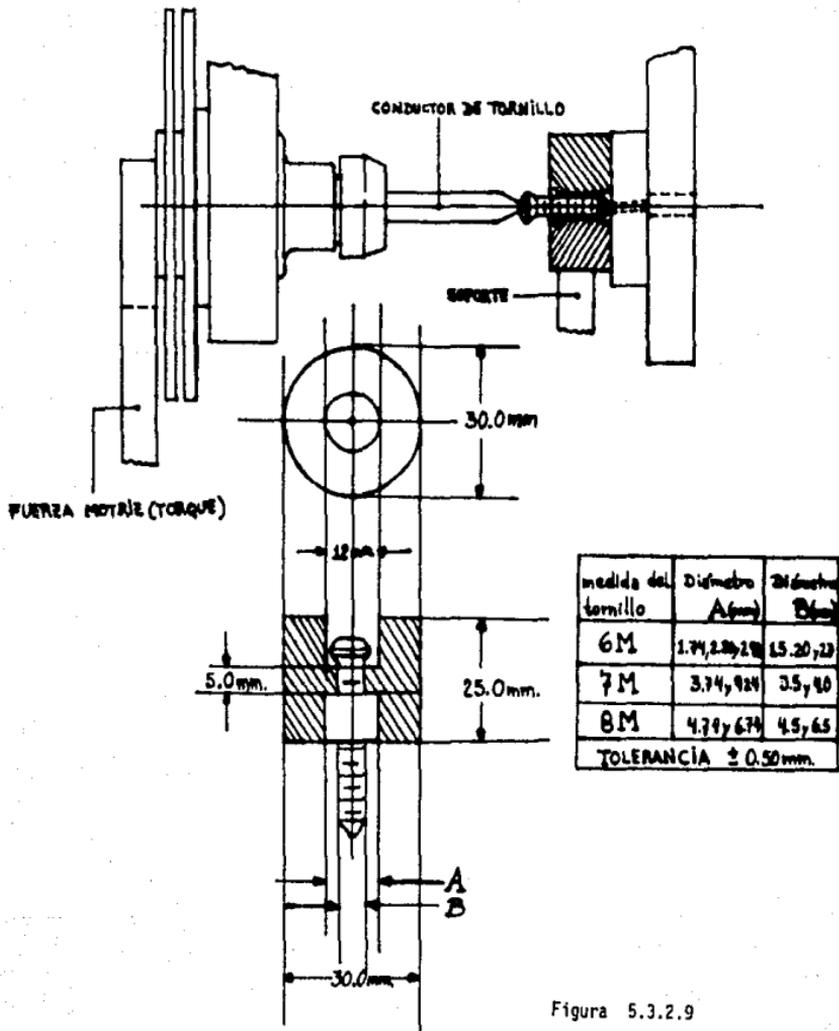


Figura 5.3.2.9

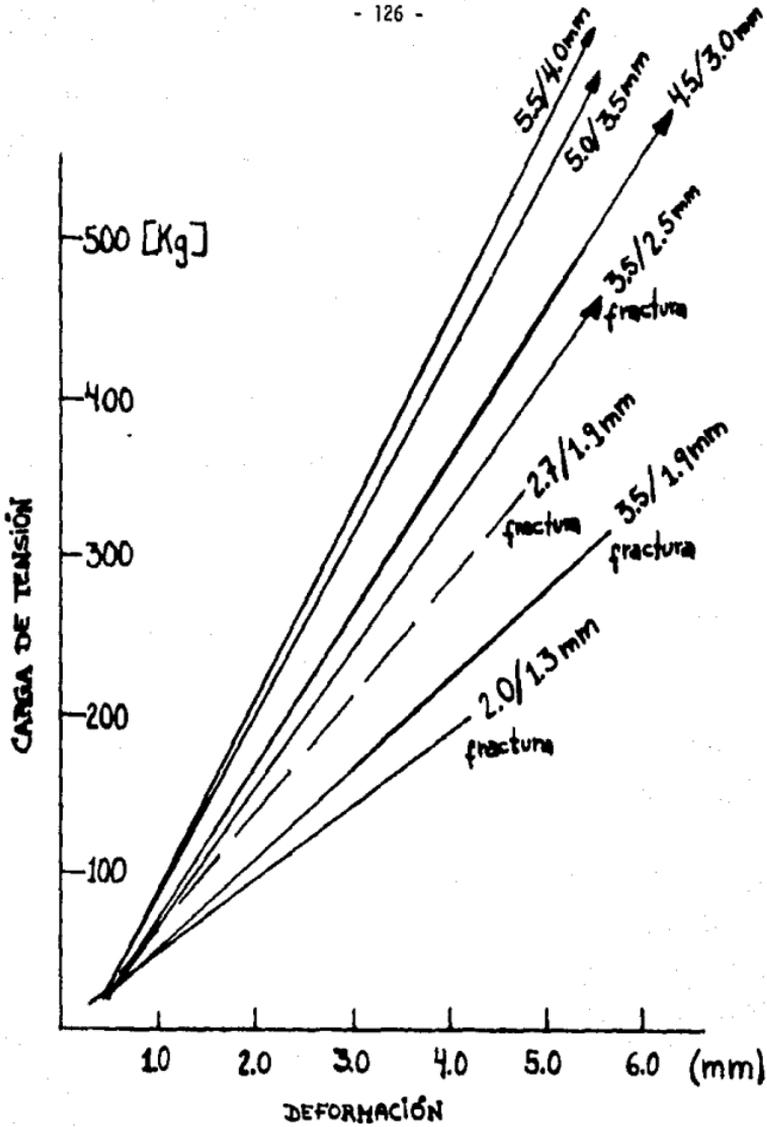


Figura 5.3.2.10

las. El espesor del bloque no sea menor de 4.8 cm.

Los torques aplicados en la prueba no deberán exceder a los -
indicados posteriormente y serán como punto máximo antes de romperse la
cabeza del tornillo durante las primeras cuatro vueltas, no antes no --
después.

Tipo I No. 6M.....100 kg-cm.

Tipo II No. 7M.....130 kg-cm.

Tipo III No. 8M.....150 kg-cm.

Para mayor claridad ver la figura 5.2.3.9.

La otra prueba que se realiza a los tornillos terminados, es
una prueba de fuerza a la tensión longitudinalmente con su eje del tor-
nillo. Esta se realiza en los diferentes diámetros de tornillos hasta -
que se observa rotura o fractura. Su comportamiento de la curva es de -
una línea recta, porque se le sigue aplicando carga sin dejar de ceder
hasta que exista la fractura. La gráfica 5.2.3.10 muestra el comporta--
miento de diferentes tornillos en diámetro.

5.3.2.2 Pruebas Químicas.

Las pruebas químicas que se realizan a los implantes
ya terminados son las mismas que se le hacen cuando es materia prima y
además se le hacen pruebas de corrosión antes y después de ser implanta
do. Las pruebas de implantes extraídos son estadísticas mucho muy impor
tantes tanto para el ingeniero fabricante, como para el médico.

Análisis químicos en los implantes comprueban que la-
composición química de la aleación permanece constante después de un me
canizado para transformar el acero en un implante. Este análisis quími-

co de la aleación es el mismo que el obtenido en la tabla 5.1.1.1. Todos los componentes se conservan sin la existencia de nuevas inclusiones metálicas y no metálicas. En su estructura metalográfica se conserva como la marcada en la norma E 112-63, misma que rige al acero inoxidable cuando es materia prima. El tamaño de grano es de forma fina y pequeña sin pasar el No. 5 de la misma norma. No deberán de precipitarse carburos de cromo por el trabajo del metal. Por tanto debe conservar la estructura marcada en la tabla 5.1.4.1. El procedimiento para realizar la prueba metalográfica es el mismo descrito en la sección 5.1.4 y los resultados de serán ser los mismos. Tanto la composición química y la estructura metalográfica se conservarán con las mismas propiedades y características de cuando eran materia prima, aun cuando es muy difícil pensar en cambios estructurales por un mecanizado en frío, deben de haber las mismas pruebas de aseguramiento de calidad que las de materia prima.

La prueba más importante que se debe de hacer a un implante es la prueba de corrosión; tanto para después de terminado un implante y que no ha sido implantado, tanto para el que se extrae de un paciente.

Los tipos de corrosión que pueden manifestarse en la osteosíntesis son dos principales:

Corrosión por picadura.

Corrosión por fricción.

Una tercera forma de corrosión, es la corrosión por tensión, detectada únicamente en el laboratorio, permite determinar el estado de tensión y la localización de las tensiones, las cuales son muy importantes en el fenómeno de fatiga que se produce en el caso de osteosíntesis inestable.

Las investigaciones de los implantes extraídos revelan informes sobre la corrosión en "vivo" muy importante que el fabricante utiliza para los implantes, además el médico se basa en estos datos para futuras -- operaciones. Para lo cual se deben realizar pruebas de aseguramiento de - calidad a implantes en vivo y en vitro.

Es perfectamente conocido que la corrosión puede existir en placas y tornillos para la osteosíntesis, especialmente en las áreas de contacto entre la placa y el tornillo. Exámenes en éstas áreas revelan estructuras que muestran corrosión por picadura, creadas por un movimiento relativo entre la placa y el tornillo. Es entonces un problema importante la - corrosión que puede existir por fricción de los implantes en "vivo". Este tipo de corrosión y sus respectivos niveles es difícil de controlar en -- cuanto al movimiento necesario que el paciente necesita realizar, por ésto el fabricante deberá preveer en sus tolerancias dimensionales.

La corrosión por picadura es el resultado de una contricción fisica de moléculas de oxígeno difusas en una región confinada o grieta. Un metal pasivo en estado estable consume oxígeno en una reacción catódica - que no puede ser repuesta en la grieta. La reacción catódica (reducción - de oxígeno), y una reacción anódica (disolución de metal), vienen a separarse con una disolución de metal concentrada en la grieta. Esto produce un exceso de iones positivos, los cuales son balanceados por un flujo de iones cargados negativamente, notablemente por una rápida migración de iones cloro. Los iones cloro detienen la hidrólisis del agua con la forma-- ción de hidróxidos y iones hidrógeno libres. El crecimiento de iones cloro y el decrecimiento del PH promueven ambos disolución de metal y todo - el proceso se acelera, dando así un estado pasivo.

Las medidas electroquímicas pueden ser hechas para determinar el estado pasivo o de corrosión del metal colocándolos en algo acuoso reteniéndolos y si la capa de protección pasiva estabiliza el resto del potencial de corrosión, será no corrosivo.

La corrosión por picadura de placas y tornillos se deberá estudiar con soluciones salínicas de 0.9 a 7.2 por ciento de NaCl. La corrosión por fricción se estudia en "vitro", con placas atornilladas a hue--sos tubulares sujetos a cargas cíclicas axiales; pero también se estudian en "vivo", en animales.

El exámen estático de corrosión se hace a una placa de seis agujeros atornillada a una barra. Se hace contacto con una solución de --prueba la cabeza del tornillo y el contorno del agujero de la placa. La solución de prueba es una solución salínica oxigenada a 40°C y a una concentración de 0.9, 1.8, 3.6 ó 7.2% de Na Cl en peso. El potencial de corrosión es medido en un electrodo de cloruro mercurioso (Hg_2Cl_2) estan--dar y se registra a través de un perfodo de tiempo en la prueba.

Las cargas dinámicas se hacen en "vitro" a las placas de seis agujeros atornilladas en tubos poliacetálicos de 25 mm. de diámetro. Pa--ra tener mejor contacto eléctrico se taladra un agujero en un extremo de la placa y se coloca una pija de acero dentro del agujero. Entonces se suelta un alambre a la pija y se sella con silicón. Para asegurar una --distribución en la carga, se transmite a través de la cabeza de un acomplamiento que se pone entre la placa y el tubo. Entonces se colocan en una cámara y rellenos con solución salínica al 0.9% de NaCl y se montan en una máquina universal para pruebas. La prueba deberá ser hecha en un

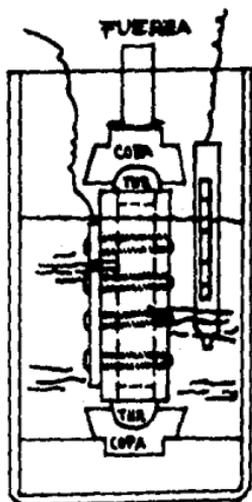
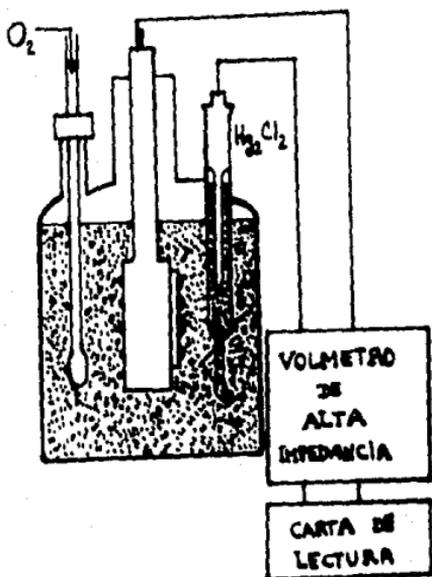


Figura 5.3.2.2.1

cuarto con temperatura controlada (25°C). La carga mínima aplicada es de 50 kg. a cargas máximas de 130, 270 ó 400 kg. a una frecuencia de 1 Hz - (60 ciclos/min.).

En la gráfica 5.3.2.2.2 se muestra una curva de potencial contra tiempo para una prueba estática con solución salina al 0.9%. Durante la primera semana se registran algunas caídas transitorias de potencial. Después del período de estabilización, que corresponde a menos de un mes, todas las pruebas se estabilizan a un potencial de los alrededores de 0 mV. De 25 pruebas que se realizaron, 16 fueron en un período de un mes, 3 a tres meses, 3 a seis meses y 3 a un año. El potencial se puso estable a lo largo de todas las pruebas. Se examinaron los implantes y no se encontró ningún rasgo de corrosión por picadura.

En pruebas con soluciones de salinidad al 1.8% se presentaron picos o puntos críticos arriba de los seis meses. En pruebas hechas a una salinidad de 3.6% y de 7.2% los implantes presentaron corrosión principalmente en los agujeros de las placas y en las cabezas de los tornillos siendo durante el primer mes.

Las gráficas 5.3.2.2.3 y 5.3.2.2.4 se presenta pruebas con cargas dinámicas en "vitro". La figura 5.3.2.2.3 muestra los efectos por cargas axiales aplicadas en un tubo con una placa atornillada y los tornillos bajo un torque de 10kg-cm. La aplicación de una mayor carga da como resultado un aumento de potencial aproximado de 199 mV. A cargas bajas de potencial es de tan solo 8 mV.

En los registros tomados en la gráfica 5.3.2.2.4 en un aumento en el torque en los tornillos y el tubo cargado al máximo. Se puede observar que el potencial cambia, decreciendo de 199 mV con un aumento en

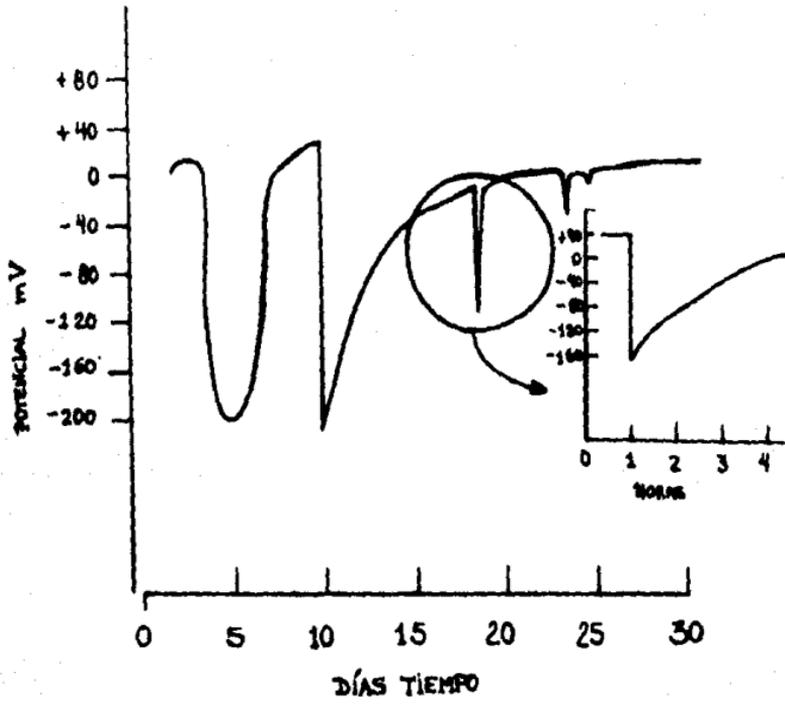
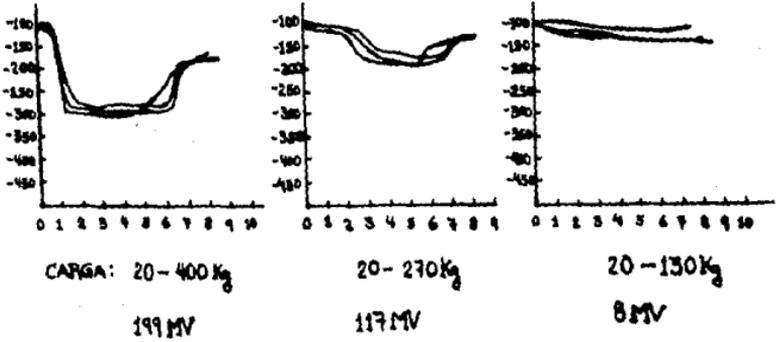


Figura 5.3.2.2.2

TORQUE A LOS TORNILLOS 110 Kg-cm.



LA CARGA DECRECE.

Figura 5.3.2.2.3

CARGA AXIAL 20 A 400 Kg, 1Hz

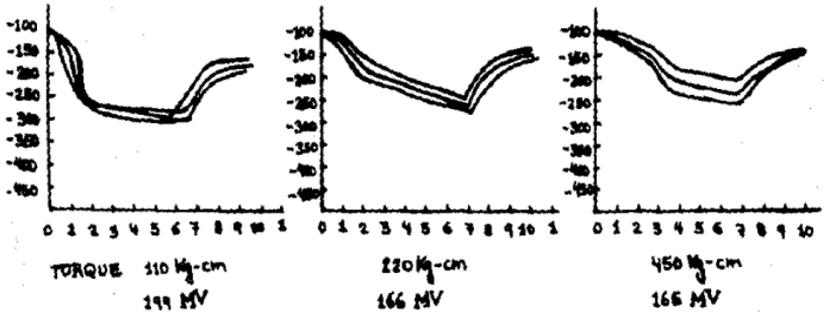


Figura 5.3.2.2.4

el torque de 10kg-cm a 20kg-cm. Pero más allá de un incremento de 20kg-cm, es decir a unos 45kg-cm, los efectos son mínimos en el cambio de potencial.

En el interior del cuerpo humano los implantes son sometidos a una multitud de fenómenos. La presencia de iones cloro significa que el metal del implante puede sufrir picadura o corrosión. La presencia de tensiones mecánicas por contracciones musculares significa que el implante está sujeto a esfuerzos de tensión y compresión. Por esto es necesario realizar varias pruebas a los implantes en el laboratorio como de corrosión, dureza, tensiones, etc. Y además realizar experimentos en "vivo" con animales.

5.4 Aseguramiento de Calidad de Maquinaria y Herramental.

En la fabricación de productos en grandes escalas y de grandes exigencias en calidad, como es el caso de los implantes para osteosíntesis obliga a tener equipos modernos que reduzcan tiempos de producción y además den piezas terminadas de gran calidad.

La calidad de una máquina-herramienta se encuentra íntimamente relacionada con la pieza a fabricar, ya que si la pieza a fabricar requiere de una gran precisión, deberá de utilizarse maquinaria de una gran precisión. Entre más cerradas sean las tolerancias de una pieza a fabricar, tanto más precisa deberá ser la máquina-herramienta. Es por ésto, que las máquinas herramientas deben tener un aseguramiento en calidad y éste se rige bajo normas, las cuales deben de ser respetadas tanto por el constructor y el usuario.

Para el aseguramiento de la calidad de las máquinas-herramientas se realizan pruebas de control, las cuales pueden hacerse cuando la máquina está parada y descargada: control estático; o bien cuando la máquina está cargada: control funcional. En el primer caso, no se consideran las fuerzas actuando en las estructuras de la máquina que tienen función cuando existe desprendimiento de viruta. Estas fuerzas tienen gran importancia porque son las que crean vibraciones y deformaciones en la máquina, y se presentan cuando existe un mal diseño, mal uso del equipo o un mal anclaje. El control estático o geométrico es fácilmente hecho por el fabricante a medida que construye los diversos órganos que componen la máquina y a medida que estos se van formando progresivamente en el montaje.

El control funcional o dinámico puede manifestar también deformaciones o vibraciones que afectarían a un buen acabado en las piezas.

Las pruebas de funcionamiento, en la práctica, se refieren a las operaciones de acabado para poder comprobar la precisión de las cotas alcanzadas y el grado de acabado de las superficies.

Para una prueba de rigidez de la máquina se efectúa dinámicamente, es decir, cuando la máquina-herramienta está bajo carga. Esta prueba solicita a los árboles, engranajes y demás piezas de la máquina a esfuerzos a torsión o flexión o ambos; lo cual puede manifestar vibraciones o ruidos extraños. Estos esfuerzos impuestos en las pruebas deberán ser menores a los perniciosos en su límite elástico, evitando así deformaciones permanentes. Para el caso de máquinas-herramientas como tornos, fresadoras, taladros, rectificadoras; son sometidas las herramientas a sobrecargas. Lo que deberá conducir a resultados como:

Ninguna deformación permanente, las deformaciones elásticas no repercuten en el resultado de la pieza, ninguna vibración y ningún ruido extraño.

Para la realización de éste tipo de pruebas se cuenta con una variedad de instrumentos de medición que comúnmente se emplean y son por ejemplo:

a.- Relojes Comparadores. Es cualquier tipo de calibrador del tipo horquilla que nos muestra cualquier desviación. La graduación puede llegar a ser hasta de 0.001 mm. y el error que puede tener es de 0.05 mm.

b.- Soportes para Comparadores. Son brazos que sostienen a los comparadores, los cuales deberán ser muy robustos, para evitar vibraciones o movimientos que afecten a la lectura.

c.- Cilindros de prueba. Son aparatos comparadores que tienen por objeto mantener concentricidad de ejes, árboles, sinfines, husillos de máquinas-herramientas.

d.- Reglas y Escuadras. Son generalmente de acero fundido con soportes muy rígidos con tolerancias de ± 0.01 mm. La regla y escuadra patrón es de acero templado y planos rectificadas.

e.- Instrumentos de Medición. Instrumentos como el vernier y el micrómetro.

Todos éstos instrumentos en conjunto se utilizan para un control y verificación de lo siguiente:

1.- Alineación de las Guías y Nivelación de las Mesas Portapiezas. Todos los planos de las máquinas herramientas como las bancadas deberán de verificarse que esté en un plano horizontal. Esto se realiza con niveles como el de burbuja y se realiza en el centro de la bancada desplazándolo a la derecha y luego a la izquierda. El máximo desnivel de la bancada se tiene cuando el nivel señala, en las posiciones extremas, una desviación de ± 0.02 sobre 1.00 mm.

2.- Paralelismo de Ejes y Guías. Para tener un paralelismo en ejes, guías, árboles, contrapuntas, etc. se verifica esto con respecto a la bancada, para lo cual se utilizan niveles de burbuja o comparadores de esfera.

3.- Dirección y Rotación de Arboles. Se verifica que la rotación de algún eje sea la correcta, es decir la dirección derecha o izquierda, además que no exista excentricidad. Algunas máquinas-herramientas contienen exéntreicos y se verifica la oscilación correcta con un comparador de esfera.

4.- Exactitud del paso de un Husillo. Los carros mesas, cabezales,

etc. son accionados por husillos; que son tornillos sinfin, que tienen un paso el cual constituye una parte fundamental para el correcto funcionamiento de una máquina-herramienta. El error eventual que puede existir en un husillo esta referido entre unos 300 mm. siendo la tolerancia de ± 0.03 mm.

El método consiste en hacer dos mediciones sobre una distancia -- previamente establecida de 300 mm. desplazando el carro sobre la bancada -- por medio del husillo conductor y empezando a una cierta distancia del -- plato de arraste. La primera medición se hace por medio de una galga pa-- trón; la segunda se controla por medio de un reloj comparador. Se puede -- hacer el control definitivo fileteando un mismo cilindro de prueba de lon-- gitud no inferior a diez veces el paso, con rosca a la derecha o a la iz-- quierda. El error máximo admisible es de ± 0.003 mm para cada paso, mien-- tras el error global no debe superar el del husillo de roscar.

5.- Exactitud en la División de los Aparatos Divisores. Este con-- trol debe de darse en minutos y grados para lo cual se mide la longitud -- del arco en milímetros sobre la circunferencia que se verifique.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Los implantes ortopédicos son un producto que en los últimos años ha tenido un gran auge, sobre todo en las grandes ciudades, donde hay un gran número de accidentes de tránsito y de trabajo. Los hospitales -- por tanto, tienen una gran necesidad de dar de alta a sus pacientes -- por la gran escasez de camas disponibles. La ortopedia moderna requiere de sistemas que den lo más pronto posible de alta a pacientes traumatizados, y la ingeniería ha hecho que productos como los implantes -- ortopédicos se fabriquen en serie y bajo normas y calidad que la medicina lo exige.

La fabricación de implantes en nuestro país es una gran necesidad sobre todo en las grandes urbes y a través del estudio y análisis concluyo que una integración nacional es beneficiosa para evitar las -- grandes cantidades de implantes, tanto en volumen como en monto de divisas, que se importan anualmente.

La creación de una industria totalmente nacional es de una gran -- facilidad para un inversionista que puede incursionar en el mercado de la medicina, que fácilmente podrá fabricar implantes, ya que su tecnología se encuentra totalmente estandarizada y normalizada. Podrá además cerrar la frontera a importadores, ya que en éstos momentos en que el país necesita importar lo menos posible, sin que éste sea causa de un retroceso científico, como en este caso sería en el de la medicina.

Resulta importante señalar, que en el país se cuenta con ingenieros, médicos, biomecánicos, técnicos y obreros que cuentan con la capa

cidad necesaria para fabricar productos de excelente calidad como los importados. En el país se cuenta también con la maquinaria y equipo necesario para fabricar implantes de la calidad de los importados.

En los dos últimos capítulos se analizó el proceso de fabricación de los implantes. En el cuarto se desglosó el proceso metalmecánico y se concluye, que las operaciones de maquinado que sufren los implantes son sumamente sencillas y por tanto fácilmente integrables a la industria nacional. En el capítulo quinto se analizó las pruebas de aseguramiento de calidad, las cuales están normalizadas y por tanto solo se tienen que seguir al igual o con mayor rigidez, según se quiera, al criterio del fabricante.

APPENDICES

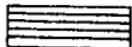
A P E N D I C E No. 1

LAY-OUT Y EQUIPO DEL PROYECTO

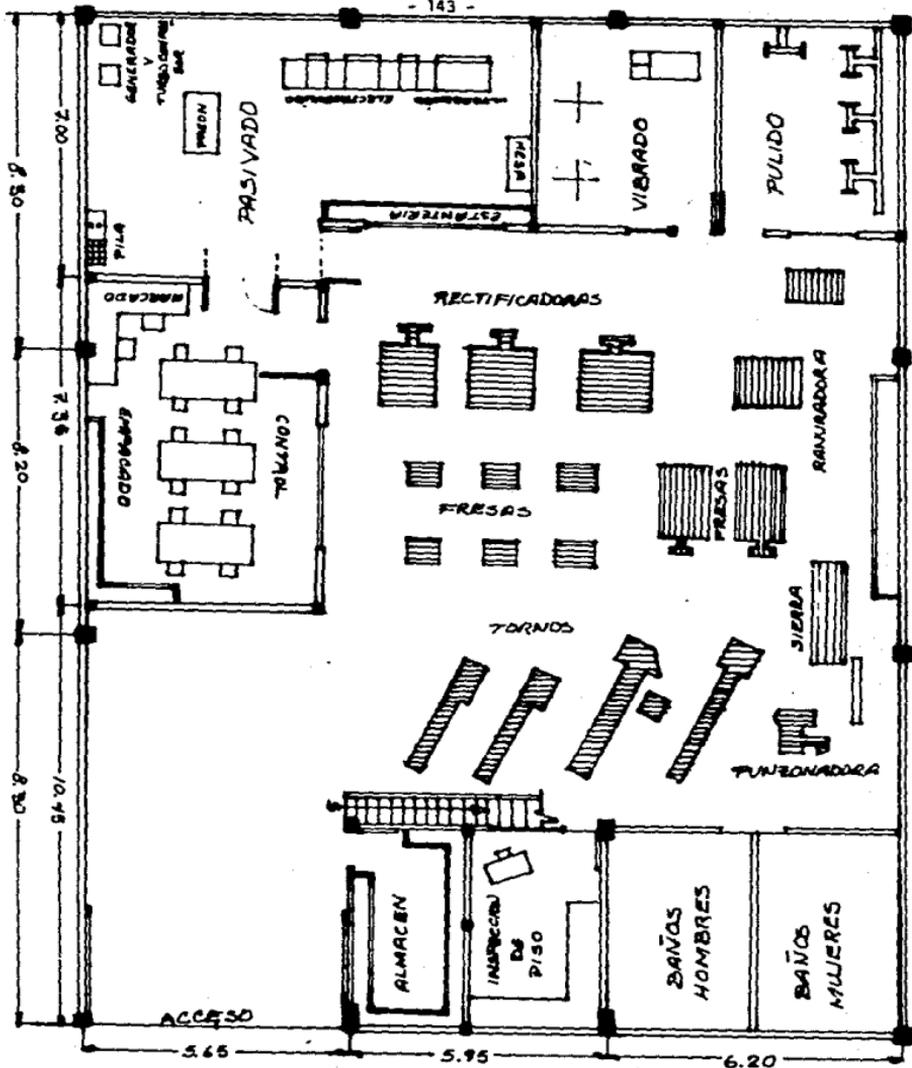
FABRICACION DE TORNILLOS



FABRICACION DE PLACAS



Escala 1:100	PLANOS DE DISTRIBUCION DE MAQUINAS .
Plano No. 1	Proyecto por Carlos Aldapa
	Cotas en Metros



COSTO DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO.

<u>DESCRIPCION</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>	<u>UNIDADES</u>	<u>PRECIO TOTAL</u>
Torno automático star VNC-12 con accesorios	15'750,000.00	2	31'500,000.00
Torno automático star JNC-16 con accesorios	21'750,000.00	2	43'500,000.00
Fresado para roscas M + Z M 139	10'050,000.00	3	30'150,000.00
Fresado para roscas M 544	14'700,000.00	3	44'100,000.00
Punzadora tipo cí- clón	12'900,000.00	1	12'900,000.00
Electropulido y baños auxiliares	7'600,000.00	1	7'600,000.00
Racks de titanio	750,000.00		750,000.00
Proyector de perfiles	2'100,000.00	1	2'100,000.00
Equipo de medición	750,000.00		750,000.00
Ultrasonidos	1'000,000.00	1	1'000,000.00
Equipo de secado por freon y enfriador	4'000,000.00	1	4'000,000.00
Sierra automática	5'250,000.00	1	5'250,000.00
Fresadora automática	22'050,000.00	1	22'050,000.00
Fresadora universal	9'600,000.00	1	9'600,000.00
Taladro vertical	1'500,000.00	1	1'500,000.00

<u>DESCRIPCION</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>	<u>UNIDADES</u>	<u>PRECIO TOTAL</u>
Rectificadoras de superficies curvas	5'250,000.00	3	15'750,000.00
Pulidora de brazos y poleas V4	600,000.00	2	1'200,000.00
Pulidora de bandas V 2A/200DS	300,000.00	2	600,000.00
Vibradora vibrogal DS-1	1'000,000.00	2	2'000,000.00
Vibradora Trowal KS-35	2'500,000.00	1	2'500,000.00
Marcadora Euromark 77	600,000.00	2	1'200,000.00
Compresor de Aire	700,000.00	1	700,000.00
Subestación de 150 KVA	5'200,000.00	1	5'200,000.00
Muebles de oficina	2'500,000.00		2'500,000.00
Inmueble	15'000,000.00	1	15'000.000.00
			<hr/>
			233'250,000.00

BIBLIOGRAFIA

METALURGIA FISICA PARA INGENIEROS
ALBERT G. GUY
FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO, S.A.
TRADUCCION DE:
FRANCISCO MUÑOZ DEL CORRAL

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE HERRAMIENTAS
FRANK W. WILSON
COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A.
TRADUCCION DE:
ANTONIO GALAN PATIÑO

LAS MAQUINAS HERRAMIENTAS MODERNAS
FRANK H. HABICHT
COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A.
TRADUCCION DE:
ANTONIO GALAN PATIÑO

DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS
V.M. FAIRES
MONTANER Y SIMON, S.A.
TRADUCCION DE:
ING. FRANCISCO PANIAGUA

CHAUSSIN C.
METALURGIA POR G. HILLY AND P. CHERENARD
TRADUCIDO DEL FRANCES
BILBAO, ESPAÑA URMO 1975
TOMO I Y TOMO II

METALURGY FOR ENGINEERS
ROLLASON, ERNEST CLARENCE
LONDON: E ARNOLD 1973

METALURGIA ESPECIAL
JEAN HERENQUEL
TRADUCCION DE:
JAVIER MA. ELUSTONDO
BILBAO, ESPAÑA URMO 1976.

MANUAL DEL INGENIERO MECANICO
MARKS
THEODORE BAUMEISTER
EUGENE A. AVELLONE
THEODORE BAUMEISTER III
Mc. GRAW HILL

TECNICA DEL VACIO EN METALURGIA
J.A. BELK
TRADUCCION DE:
TOMAS REYERO MARTINEZ
EDICIONES URMO BILBAO, ESPAÑA

MAQUINAS HERRAMIENTAS MODERNAS
MARIO ROSSI
TRADUCCION DE:
ROMAN FORTET GAY
VOLUMEN II
EDITORIAL DOSSAT, S.A.

INTRODUCCION A LA CIENCIA DE MATERIALES
WILTON BROSTON
EDITORIAL LIMUSA

CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIERIA
CARL A. KEYSER
TRADUCCION DE:
HORTENSIA CORONA RODRIGUEZ
EDITORIAL LIMUSA

INDICE DE DIAGRAMAS, FIGURAS Y TABLAS

<u>DIAGRAMAS</u>			<u>PAGINA</u>
Diagrama	2.1.2.1	Solución A y B	9
Diagrama	2.1.2.1	Punto eutéctico.....	11
Diagrama	2.1.2.3	Solución hierro-carbono.....	13
Diagrama	2.1.2.4	Diagrama de dos soluciones sólidas.....	16
Diagrama	2.1.2.5	Diagrama que presenta más de dos <u>solu</u> ciones.....	18
Diagrama	2.1.2.2.1	Diagrama ternario	19
Diagrama	2.2.1.1	Diagrama Hierro-Carbono.....	35
Diagrama	2.2.2.1	Diagrama Esfuerzo-Deformación.....	38
Diagrama	2.2.2.2	Diagrama Esfuerzo-Deformación de diferentes materiales.....	40
Diagrama	2.3.4.1	Diagrama de temperatura crítica de los aceros.....	46
Diagrama	2.3.4.2	Diagrama de temperatura crítica de los aceros al cromo-níquel.....	46
Diagrama	4.7.1	Diagrama tiempo-tensión de los diferentes tratamientos superficiales...	91
Diagrama	5.3.2.2	Diagrama esfuerzo-deformación de un implante.....	121
Diagrama	5.3.2.3	Diagrama Esfuerzo-Número de ciclos - de un implante.....	122
Diagrama	5.3.2.10	Diagrama Carga de tensión-Deformación para tornillos.....	126
Diagrama	5.3.2.2.2	Diagrama potencial-tiempo.....	133
Diagrama	5.3.2.2.3	Diagrama potencial-carga.....	134
Diagrama	5.3.2.2.4	Diagrama potencial-torque.....	134

<u>F I G U R A S</u>			<u>P A G I N A</u>
Figura	2.1.4.1	Red espacial de cubo centrado.....	26
Figura	2.1.4.2	Red espacial de cubo de caras cen- tradas.....	28
Figura	2.1.4.3	Red espacial hexagonal.....	29
Figura	3.3.1	Horno de alto vacio para fusión de acero inoxidable.....	53
Figura	4.1.1	Rodillos de laminación para sole- ras de acero inoxidable 316 LVR...	57
Figura	4.1.2	Solera de acero inoxidable 316 LVR.	59
Figura	4.1.3	Orificio del tipo circular.....	61
Figura	4.1.4	Orificio del tipo ovalado.....	61
Figura	4.1.5	Orificio del tipo P.C.D.....	63
Figura	4.1.6	Placa terminada.....	65
Figura	4.2.7	Rodillos de laminación de redondos de acero inoxidable 316 LVR.....	67
Figura	4.1.8	Tejo de tornillo.....	68
Figura	4.1.9	Tornillo terminado.....	70
Figura	4.3.1	Tina para desengrase. Ultrasonido.	75
Figura	4.3.2	Tina para Secado con Freon.....	78
Figura	4.3.3	Tina para electropulido.....	79
Figura	4.4.1	Tina para Pasivado.....	84
Figura	5.2.1	Placa con sus dimensiones.....	101
Figura	5.3.1.1	Placa con sus dimensiones.....	105
Figura	5.3.1.2	Placa con sus dimensiones.....	105
Figura	5.3.1.3	Placa con sus dimensiones.....	105
Figura	5.3.2.1	Tornillo con sus dimensiones.....	107
Figura	5.3.2.2	Prueba del implante a la flexión..	113
Figura	5.3.2.3	Implante con fisura por fatiga....	114
Figura	5.3.2.4	Implante con fisura por fatiga....	114

<u>F I G U R A S</u>			<u>P A G I N A</u>
Figura	5.3.2.5	Implante con fisura por fatiga.....	115
Figura	5.3.2.6	Implante con fisura por fatiga.....	116
Figura	5.3.2.7	Implante con fisura por fatiga.....	117
Figura	5.3.2.8	Implante con fisura por fatiga.....	120
Figura	5.3.2.9	Prueba a la torsión de tornillo.....	125
Figura	5.3.2.2.1	Prueba de corrosión para implantes...	131

T A B L A S

Tabla	4.1.1	Tolerancias de orificios.....	64
Tabla	4.2.1	Componentes abrasivos.....	73
Tabla	4.3.1	Propiedades del Freon.....	76
Tabla	4.3.2	Propiedades del Electrolito E 265....	80
Tabla	5.1.1.1	Composición química.....	95
Tabla	5.1.1.2	Propiedades de resistencia a la rotura.....	96
Tabla	5.1.3.1	Puntos principales del Diagrama Esfuerzo-Deformación.....	97
Tabla	5.1.4.1	Tipos de impurezas.....	99
Tabla	5.2.1	Tolerancias dimensionales.....	100
Tabla	5.3.1.1	Tipos de implantes y dimensiones.....	111
Tabla	5.3.2.1	Puntos importantes del Diagrama Esfuerzo-Deformación.....	118
Tabla	5.3.3.2	Resistencia a la fatiga.....	123