

97  
2vj



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TRATAMIENTO TERMICO, LIMPIEZA Y PULIDO PARA  
UN ACERO INOXIDABLE 420 MARTENSITICO  
APLICADO EN AGUJAS PARA SUTURA.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**GUILLERMO HERNANDEZ RUIZ**



ASESOR: ING. MAGDALENA TRUJILLO BARRAGAN

CD. UNIVERSITARIA

OCTUBRE 1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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 esta 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.

# **INDICE.**

**AGRADECIMIENTOS.**

**PROLOGO.**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION A LOS ACEROS.**

*1.1.- Generalidades.*

*1.2.- Clasificación General de los Aceros.*

*1.2.1 Aceros para construcción.*

*1.2.2 Aceros inoxidable.*

*1.2.3 Aceros para herramienta.*

*1.3.- Tratamientos térmicos para los aceros.*

## **CAPITULO II**

### **LOS ACEROS INOXIDABLES Y SUS PROPIEDADES.**

*2.1.- Aceros inoxidable de uso más frecuente.*

*2.1.1 Aceros inoxidable Martensíticos.*

*2.1.2 Aceros inoxidable Ferríticos.*

*2.1.3 Los aceros inoxidable Austeníticos.*

*2.1.4 Aceros Inoxidable endurecible por precipitación.*

2.2.- *Estudios de algunas teorías y factores que tienen gran importancia en los fenómenos de corrosión.*

2.3.- *Corrosión química directa y resistencia que a éste fenómeno ofrecen los diferentes metales.*

2.5.- *La corrosión y su Importancia.*

### **CAPITULO III**

#### **ACEROS INOXIDABLES DE APLICACION QUIRURGICA.**

3.1.- *Introducción.*

3.2.- *Características físicas del acero inox. quirúrgico aplicado en agujas de sutura.*

3.3.- *El acero inoxidable 420 y su aplicación en agujas de sutura.*

3.2.1.- *Análisis de los requerimientos del material para la aplicación en agujas de sutura.*

3.2.4.- *Características y propiedades del acero inox. martensítico 420*

### **CAPITULO IV**

#### **DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS:**

1.- **TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO INOXIDABLE 420 MARTENSITICO.**

2.- **LIMPIEZA Y PULIDO EN LA ELABORACION PARA AGUJAS DE SUTURA**

4.1.- *Selección del Tratamiento Térmico para el acero inoxidable martensítico 420 para agujas de sutura.*

4.2.- *Selección del equipo de limpieza, pulido y productos químicos para el acero inoxidable martensítico 420 aplicado en la elaboración de agujas de sutura.*

*CAPITULO V*  
*CONCLUSIONES.*

*APENDICE A: TABLAS EXPERIMENTALES DE LOS DIVERSOS ESTUDIOS.*

*APENDICE B: ARTICULOS DIVERSOS.*

*APENDICE C: FOTOGRAFIA DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS.*

*BIBLIOGRAFIA.*

## AGRADECIMIENTOS:

*A mi amada Madre:*

*Rosa María Ruiz Zermeño.*

*A mis queridas Abuelas:*

*Josefina Ayala García.  
Consuelo Zermeño Ayala.  
Guadalupe Zermeño Ayala.*

*A mis queridos y amados hermanos:*

*Sergio Hernández Ruiz.  
Julio César Heruández Ruiz.  
Rosa María González Ruiz  
Luis Alfonso González Ruiz.*

*por estar siempre a mi lado y creer en mi, además de su apoyo incondicional, sin más que mi trabajo para agradecerles mil gracias..:*

*Cuando sepas hallar una sonrisa.*

*Cuando sepas hallar una sonrisa  
en la gota sutil que se rezuma  
de las purosas piedras, en la bruma,  
en el sol, en el ave y en la brisa;  
cuando nada a tus ojos quede inerte,  
ni informe, ni incoloro, ni lejano,  
y penetres la vida en el arcano  
del silencio, las sombras y la muerte  
cuando tiendas la vista a los diversos  
rumbos del cosmos, y tu esfuerzo propio  
sea como potente microscopio  
que va hallando invisibles universos;  
entonces, en las flamas de la hoguera  
de un amor infinito y subhumano  
como el santo de Asís, dirás hermono  
al árbol, al celaje y a la fiera.*

*Sentirás en la inmensa muchedumbre  
de seres y de cosas tu ser mismo;  
serás, todo pavor con el abismo  
y serás todo orgullo con la cumbre.*

*Sacudirás tu amor el polvo infredo  
que macula el blower de la azucena,  
benedicirás las márgenes de arena  
y olerarás el vuelo del insecto;  
y besarás el garfio del espino  
y el sedño rojoje de las dollas...  
y quitarás pialaso tus sandalias  
para no herir a las piedras del camino.*

*Enrique González Martínez*

*A los profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica por las facilidades otorgadas: Ing. Sara Cerrud y al M.I. Armando Ortiz, y en especial al Ing. Emiliano Anguiano Rojas, por su apoyo y sus valiosos conocimientos, además de sus consejos y enseñanzas.*

*Y a todos mis compañeros del seminario y de toda la carrera:*

*Roberto Cisneros Hernández.  
César Flores Valverde.  
Hilteberto Loaiza Brito.  
Israel Laguna Monroy  
Beatriz López Montoya.  
Eric Mendoza Chaparro.  
Rita Méndez Serrano.  
Antonio Zepeda Sánchez.*

*por su amistad, comprensión y apoyo desinteresado.*

*y a mi querida Facultad de Ingeniería.*

*y, en especial a mis queridos amigos-hermanos: Griselda Ichikaua Pérez y Luis Miguel Moreno López.*

**Porque todos ustedes saben que :**

*La gloria de la amistad no es la mano tendida, ni la sonrisa bondadosa, ni disfrutar de compañía; es la inspiración espiritual , que sentimos todos al saber que alguien cree en nosotras y que está dispuesto a darnos su confianza.*

**GUILLERMO HERNÁNDEZ RUIZ.**

**Octubre de 1996.**

## **PROLOGO.**

El presente estudio, tiene como objetivo principal la selección del equipo y las etapas adecuadas para el tratamiento térmico y la limpieza aplicada en el acero inoxidable 420 martensítico para agujas de sutura. Primeramente, se trata el origen del acero (a nivel histórico), clasificaciones, categorías y los principios de características y el empleo del acero inoxidable en instrumental quirúrgico. Asimismo, se presenta el desarrollo de las etapas que proporcionan el desarrollo adecuado de la investigación.

Finalmente se realiza un análisis de las etapas estudiadas, en base a las frecuencias de las diferentes mediciones del ó los equipos a emplear, así como, el comportamiento del material.

De esta manera y haciendo uso de los aspectos anteriores, se procedió a la creación óptima de un modelo de trabajo, el cual se tiene como meta, al demostrar la factibilidad de su desarrollo y aplicación en el proceso; propósito con que se hizo la investigación; presentando las conclusiones y comentarios pertinentes, arrojadas al final del estudio.





*CAPITULO I*

*INTRODUCCION A LOS ACEROS.*

## *CAPITULO I*

# *INTRODUCCION A LOS ACEROS.*

### *1.1 GENERALIDADES.*

El acero es en la actualidad la más importante de las aleaciones metálicas conocidas, no habiendo existido en ninguna época otro material que tanto haya contribuido al progreso de la humanidad. Se puede decir de una forma general que bajo la denominación de <<acero>> se agrupan todas las aleaciones de hierro forjables, entre las que se encuentran los aceros especiales, aceros al carbono, etc., e incluso los hierros ordinarios de bajo contenido de carbono. La extraordinaria popularidad del acero, se debe no sólo a sus notables propiedades, sino también a la existencia de numerosos yacimientos de minerales de hierro, suficientemente ricos y puros, y al desarrollo de procedimientos de fabricación relativamente simples, que han permitido la fabricación de grandes cantidades de este metal a precios económicos. Es raro el objeto que no se fabrica con acero o que no se elabora con su ayuda. Sin acero no habría ferrocarriles, ni automóviles, ni aeroplanos, ni máquinas, ni otras instalaciones u objetos cuyo uso o posesión tanto agrada y que deben en gran parte su existencia a este material tan extraordinario. Ningún otro metal ni aleación posee notables propiedades, que lo hacen insustituible para muchas aplicaciones. Los hierros y aceros son además muy utilizados por su bajo precio, inferior al de los demás materiales metálicos.

Algunos aceros son fácilmente soldables, pudiendo unirse a elevada temperatura por simple presión y contacto. Otra de las propiedades más valiosas de los aceros, es la facultad de adquirir una dureza extraordinaria, si se les somete a un tratamiento térmico de calentamiento y enfriamiento brusco, obteniéndose gran dureza y resistencia. Al ser posible endurecer los aceros el proceso que se suele seguir en los talleres es mecanizarlos cuando se encuentran en estado blando y luego, cuando se les ha dado la forma conveniente, se tratan térmicamente para aumentar su dureza y resistencia. Hasta mediados del siglo XIX no se conocían más que dos clases de aleaciones de hierro forjables: el llamado hierro dulce (0.04 a 0.20 % de carbono), que se empleaba para fabricar máquinas, verjas, vehículos, etc., y el acero (0.80 a 1.50 % de carbono) que se utilizaba para fabricar armas y herramientas. Ambos materiales se diferenciaban sin dificultad porque el hierro era muy blando y el acero, en cambio, era duro y al ser templado adquiría una mayor dureza. En la actualidad, en cambio, hay muchos tipos de aceros de las más diversas composiciones y propiedades, y cualquier acerería moderna produce más de cien clases diferentes, dependiendo principalmente de sus características, composición, y de los tratamientos térmicos que se les da. Se fabrican aceros para los usos más diversos. Desde los aceros para muelle, hasta los que sirven para fabricar rieles, puentes, barcos, etc. Hay aceros inoxidables para instrumental quirúrgico y otros muy duros y resistentes al desgaste, como los que se emplean para cojinetes de bolas, para cruzamientos de vías, etc.

Existen aceros especiales para cigüeñales, para ejes, para martillos, para tijeras, para imanes, válvulas, agujas de gramófono, rejas de arado, etc. Algunos aceros son extraordinariamente duros y otros, en cambio, son muy dúctiles y maleables. Algunos son de gran elasticidad y fáciles de deformar.

## **1.2. CLASIFICACION GENERAL DE LOS ACEROS.**

Antes de cualquier estudio de los aceros, es interesante conocer una clasificación general que agrupe todas las calidades que se tienen de aceros. La clasificación de los aceros sirve: 1º, para facilitar y ordenar el estudio de las diferentes clases de aceros, y 2º, para facilitar la selección del acero más apropiado para la fabricación de cualquier pieza o herramienta. En el cuadro general (Tabla I), se clasifican los aceros teniendo en cuenta sus propiedades y utilización, en tres grandes grupos.



FIG. 1.1  
DIFERENTES TIPOS DE ACERO PARA HERRAMIENTAS

TABLA I

<sup>1</sup> Clasificación general de los aceros de acuerdo con su utilización.

**1. ° ACEROS DE CONSTRUCCION.**

**a) Aceros que se usan en bruto de forja o laminación, sin tratamiento.**

*1. Aceros al carbono que se usan en bruto de laminación para construcciones metálicas y para piezas de maquinaria en general.*

*2. Aceros de baja aleación y alto límite elástico para grandes construcciones metálicas, puentes, torres, etc.*

*3. Aceros de fácil mecanización para emplear en tornos automáticos, etc.*

**h) Aceros que se usan después del tratamiento.**

*1. Aceros al carbono.*

*2. Aceros de gran resistencia.*

*3. Aceros de cementación.*

*4. Aceros de nitruración.*

*5. Aceros para muelles.*

*6. Aceros resistentes al desgaste.*

*7. Aceros de propiedades eléctricas especiales.*

*8. Aceros Maraging.*

**2. ° ACEROS DE HERRAMIENTAS.**

*1. Aceros al carbono.*

*2. Aceros rápidos.*

*3. Aceros para trabajos en caliente.*

*4. Aceros de corte no rápidos.*

**3. ° ACEROS INOXIDABLES.**

*1. Aceros martensíticos de 13 A 18% de cromo.*

*2. Aceros ferríticos de 16 a 30% de cromo.*

*3. Aceros cromo-níquel del grupo 18/8*

*4. Aceros cromo-níquel austeníticos de alta aleación.*

*5. Aceros para válvulas.*

*6. Aceros con elevada resistencia a la fluencia en caliente (creep).*

*7. Aceros inoxidable endurecibles por precipitación.*

<sup>1</sup> LIBRO: ACEROS ESPECIALES Y OTRAS ALEACIONES. APRAIZ, JOSE, MADRID, ESPAÑA 1987. QUINTA EDICION, pag

### 1.2.1 ACEROS PARA CONSTRUCCION.

Se considera aceros de construcción todos los que generalmente se emplean para la fabricación de piezas, órganos o elementos de máquinas, de motores, de construcciones o instalaciones. En ellos son fundamentales ciertas propiedades de orden mecánico, como la resistencia a la tracción, tenacidad, resistencia a la fatiga, etc.

De esa manera tenemos que, los llamados aceros de herramientas, como su nombre lo indica, son los que generalmente se utilizan para fabricar herramientas destinadas a transformar, modificar o dar forma adecuada a los materiales. Esos trabajos se verifican por arranque, por corte o por deformación plástica del material. En todos los casos, la dureza de la herramienta debe ser superior a la del material a trabajar. Este grupo abarca todos los aceros que se utilizan para la fabricación de piezas, elementos de máquinas, motores, instalaciones, carriles, vehículos, etc. Se dividen para su estudio en dos grandes grupos: 1° Los que se emplean en bruto de forja o laminación; y 2° Los que son sometidos a tratamientos térmicos antes de su empleo, con objeto de mejorar determinadas características. El primer grupo abarca el 80% del tonelaje total de acero que se produce y su selección es relativamente sencilla, ya que no son muchos los tipos que se utilizan y sus características corresponden sólo al estado normal de suministro.

El estudio de los aceros del segundo grupo es algo más complicado, ya que hay una diversidad extraordinaria de diferentes tipos y sus propiedades sufren grandes variaciones según el tratamiento que se les dé. De los aceros que se usan en forja o laminación sin tratamiento térmico posterior, se presentan tres subgrupos: 1.º El de los aceros ordinarios al carbono, que es el más numeroso, en el que están comprendidos la mayoría de los aceros que utiliza normalmente la industria mecánica y la industria de la construcción; 2.º Los aceros especiales de baja aleación y alto límite elástico que se utilizan para la construcción de grandes estructuras metálicas, puentes, etc., en los que interesa materiales que tengan algunas propiedades particulares que los aceros al carbono no suelen poseer. Estos aceros tienen una resistencia a los agentes atmosféricos mayor que la de los aceros ordinarios al carbono; y 3.º Finalmente, los aceros especiales de fácil mecanización que pueden ser trabajados en máquinas automáticas a mayores velocidades que los aceros al carbono. El desprendimiento de la viruta se hace con gran facilidad y con ellos se alcanzan producciones muy elevadas. Los elementos de aleación que con mayor frecuencia suelen utilizarse para la fabricación de aceros aleados son: níquel, manganeso, cromo, vanadio, wolframio, molibdeno, cobalto, silicio, cobre, titanio, circonio, plomo, selenio, niobio, aluminio y boro. Utilizando aceros aleados es posible fabricar piezas de gran espesor, con resistencias muy elevadas. En elementos de máquinas y motores se llegan a alcanzar grandes durezas con gran tenacidad. Es posible fabricar mecanismos que mantengan elevadas resistencias, aunque lleguen a calentarse a altas temperaturas.

Hay aceros resistentes a la corrosión que sirven para fabricar elementos decorativos, piezas de máquinas y herramientas, que resisten perfectamente a la acción de los agentes corrosivos presentes en atmósferas regias.

Se pueden construir herramientas que realicen trabajos muy forzados y que a pesar de calentarse no pierdan dureza. Es posible preparar troqueles de formas muy complicadas que no se deformen ni se agrieten con el uso.

### 1.2.2 ACEROS INOXIDABLES.

La corrosión del hierro y del acero es un problema que viene preocupando desde hace mucho tiempo a 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 centros industriales, gases de hornos, el agua de mar, jugos de frutas, algunos ácidos, ciertas sales y otros agentes químicos.

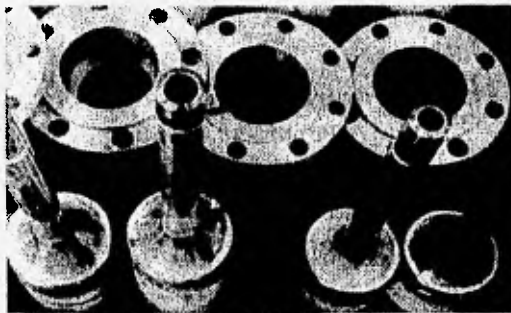


FIG. 1.2  
SE FABRICAN ACEROS PARA LOS USOS MÁS DIVERSOS, COMO ESTAS TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE PARA PLATAFORMAS MARINAS.



Una barra de acero dulce colocada a la intemperie, se corroe rápidamente. Aun puliéndola cuidadosamente y eliminando toda oxidación anterior, a los pocos minutos se puede observar la formación de pequeños núcleos de corrosión que se van extendiendo, llegándose a cubrir rápidamente toda la superficie con una capa de óxido de hierro, frágil y permeable, que permite que la corrosión continúe avanzando hacia el interior del material.

A veces, la corrosión que experimentan los materiales de acero es tan intensa que llega a desaparecer en algunas zonas el carácter metálico de la materia, quedando transformado en óxido de hierro. Es frecuente encontrar, sobre todo en zonas industriales o en lugares próximos al mar, vigas o barras que se van descomponiendo al parecer espontáneamente bajo la acción del medio ambiente y de cuya superficie se van separando capas o escamas de óxido que se han formado con el transcurso del tiempo. Aceros inoxidable son los que se utilizan para resistir a la influencia de atmósferas húmedas, agentes corrosivos, ácidos, etc., y los que son capaces de resistir durante largo tiempo a elevadas temperaturas sin deformación ni destrucción apreciable. Sin embargo, hay algunos hierros antiguos que son una excepción, pues no se oxidan ni se destruyen y se conservan en muy buen estado a pesar de los años transcurridos desde su fabricación. Entre otros muchos, uno de los ejemplos más notables, es el famoso pilar de Delhi, construido 300 años después de Cristo y que a pesar de los siglos y de las inclemencias de los tiempos, ha sufrido muy pocos desperfectos.

Los primeros trabajos realizados para la fabricación de los hierros y aceros inoxidable datan del siglo XIX. En aquella época ya se sabía que el hierro aleado con ciertos metales como el cobre, cromo y níquel, resistía mejor a la oxidación que el hierro ordinario. Desde el año de 1904 a 1910, León Guillet y Portevin realizaron en Francia estudios con aceros aleados con cromo y níquel, determinando microestructuras y tratamientos en muchos de ellos.

Llegaron a fabricar y a estudiar algunos tipos de aceros muy similares a los típicos aceros inoxidable que se emplean en la actualidad, pero en aquella época no llegaron todavía a dedicar especial atención a la inoxidable de estos materiales. El verdadero descubrimiento de los aceros inoxidable, y sobre todo de la fabricación industrial de estos aceros, no se hizo sino hasta unos años anteriores a la primera guerra mundial. En el periodo comprendido entre 1910-1914 se descubrieron casi a la vez y con la independencia en Inglaterra y Alemania los dos primeros tipos de aceros inoxidable.

La divulgación de las propiedades y composiciones de los aceros inoxidable se retrasó hasta los años 1920-1921 por el secreto en que mantuvieron sus trabajos los países beligerantes durante aquellos años de la primera guerra mundial, pero, a partir de aquella época, ha venido creciendo su demanda.



FIG. 1.3 DIFERENTES PRESENTACIONES DEL ACERO INOXIDABLE PARA LA INDUSTRIA.

### 1.2.3 ACEROS PARA HERRAMIENTA.

En este grupo se incluyen todos los aceros que normalmente se emplean para la fabricación de útiles o herramientas destinados a modificar la forma, tamaño y dimensiones de los materiales por cortadura, por presión o por arranque de viruta.

Los aceros de herramientas tienen generalmente un contenido en carbono superior a 0.30%, aunque a veces también se usan para la fabricación de ciertas herramientas aceros de bajo contenido en carbono (0.10 a 0.30%). Sin embargo, a pesar de que estos materiales pueden servir, en algunos casos, perfectamente para ese fin, conviene destacar que el empleo normal de los aceros de 0.10 a 0.30% de carbono es muy diferente del que acabamos de citar.

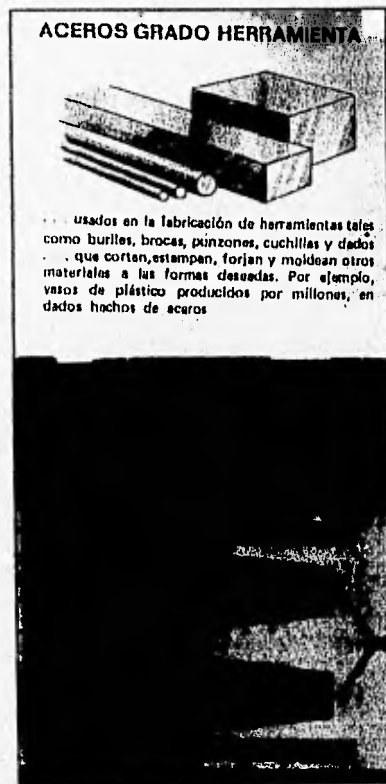


FIG. 1.4 DIFERENTES PRESENTACIONES DE ACERO GRADO HERRAMIENTA PARA LA INDUSTRIA.

La fabricación de aceros para herramientas es muy antigua, pues 1,000 años antes de Cristo se fabricaban ya en Egipto herramientas con hierro cementado que luego en el temple adquirían una dureza superficial extraordinaria. Durante muchos siglos la cementación del hierro dulce fue prácticamente el único método empleado para la fabricación de las herramientas.

En la Edad Media se caldeaban las herramientas, soldando al hierro por martillado en caliente, bandas o tiras de acero que luego después de un enfriamiento rápido (temple) adquirían gran dureza. En 1740, Benjamín Hunstman inventó el procedimiento de fusión al crisol, que durante el siglo XIX fue el método más empleado para la fabricación de aceros de herramientas de calidad. En el último tercio del siglo pasado, gracias al descubrimiento de los métodos Bessemer y Siemens, se pudieron fabricar grandes cantidades de ciertos aceros que, aunque no de alta calidad, eran utilizados para fabricar algunos tipos de herramientas. Finalmente, hacia 1900 se inventó el horno eléctrico de arco y hacia 1921 el horno eléctrico de inducción de alta frecuencia, que son las instalaciones que actualmente se emplean para fabricar la mayor parte de los aceros para herramientas de alta calidad. Hasta mediados del siglo XIX todas las herramientas se construían con acero al carbono y, aunque a partir de 1870 se empezaron a fabricar aceros de herramientas aleados, se puede considerar que hasta el año 1900 prácticamente todas las herramientas se fabricaban con aceros ordinarios al carbono.

Ha sido en el siglo XX cuando se han comenzado a emplear en gran escala los aceros para herramientas aleados. No se debe olvidar que hasta hace unos años no existían los aceros aleados o especiales y con los aceros al carbono se forjaban y estampaban toda clase de materiales, se fabricaban troqueles y cizallas con éxito muy aceptable y se cortaban, torneaban y fresaban miles de piezas de las formas más diversas; aunque en bastantes ocasiones estos aceros no se podían utilizar por falta de dureza en caliente, por dar lugar a grandes deformaciones en el tratamiento térmico o por no adquirir dureza suficiente cuando se trataba de grandes espesores, entonces fué necesario recurrir a los aceros aleados, que en esos casos especiales son insustituibles y en los que la presencia de los elementos de aleación permite obtener características y propiedades muy superiores a las de los aceros ordinarios. Para mejorar el rendimiento que se obtenía con las herramientas construidas con los aceros al carbono, se ensayaron otras composiciones, y se vió que en herramientas de tamaño relativamente grande se mejoraban los resultados empleando ciertos aceros aleados del grupo de aceros de gran resistencia (con 0.35 a 0.60% de carbono). También se vió que, en general, era de gran interés alcanzar resistencias o durezas relativamente altas en el interior de las herramientas, pues de esa forma se evitaba que la zona central de las mismas cediera durante el trabajo por la acción de los golpes en algunos casos. Las propiedades de carácter general más importantes que deben poseer los aceros para poder ser empleados para estos usos son:

**1.ª Gran dureza y resistencia en caliente.**

2.ª Gran templabilidad para que las grandes piezas lleguen a adquirir suficiente dureza en el temple y puedan ser enfriadas al aceite o al aire y así se puedan evitar deformaciones y grietas en los tratamientos.

3.ª Resistir sin agrietarse a los cambios bruscos y repetidos de temperatura.

4.ª Tener gran resistencia al desgaste.

5.ª Deben tener gran tenacidad sobre todo en el caso de que las herramientas durante el trabajo estén sometidas a choques continuos y repetidos.

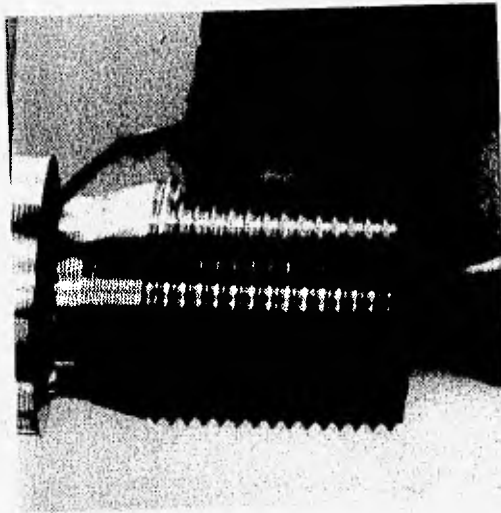


FIG. 1.5  
LOS ACEROS DE ALTO CARBONO ENCUENTRAN SU APLICACION EN HERRAMIENTAS DE CORTE.

Comprendiendo, sin embargo, que para el conocimiento de los aceros es válido también clasificarlos de acuerdo con el método de fabricación, presentamos otro cuadro (Tabla II), en el que están agrupados con este criterio. Con esto vemos que en la industria siderúrgica, en el año de 1855 en que Bessemer realizó su sensacional descubrimiento de fabricación del acero en estado líquido, se señala la fecha en la que no sólo se revolucionaron los procedimientos de fabricación en todo el mundo, sino que se modificaron también los conceptos que hasta entonces servían para clasificar y denominar los productos siderúrgicos. Con ello queda definido que antes del descubrimiento Bessemer estaban claramente definidos el hierro, el acero y la fundición por las propiedades que poseían. Nombre dado al hierro en sí ó a las aleaciones de hierro y carbono muy tenaces que se obtenían en estado pastoso en hornos bajos primitivos o en hornos de pudelar y que no se endurecían con el temple. Su contenido en carbono era generalmente inferior a 0.20%. Sin embargo, la denominación del ACERO incluía a las aleaciones de hierro forjables que se obtenían en estado líquido por fusión en crisoles, de barras de hierro cementadas y que adquirían gran dureza al templar. Generalmente tenían de 0.7 a 1.4% de carbono. Una última denominación eran las FUNDICIONES, que constaban de aleaciones de hierro frágiles no forjables, cuyo contenido de carbono variaba de 2.5 a 4%, dándose esta denominación tanto a las que se obtenían en alto horno, como a las obtenidas en hornos de segunda fusión y que, al colarlas en moldes, daban lugar a piezas de fundición de las formas más variadas.



A partir del año 1855, en que el procedimiento Bessemer comenzó a adquirir gran desarrollo, surgieron dudas al interpretar las denominaciones clásicas. Con ello, toda clase de aceros de 0.1 a 0.7% de carbono cuya definición era hierro, hubo que modificarla pues desde entonces se comenzó a fabricar en estado líquido este material. Como consecuencia de todo ello, y al ver que la obtención en estado pastoso o líquido no limitaba bien las calidades, a fines del siglo XIX se generalizaron las denominaciones anteriores como sigue:

Hierro, aleaciones hierro-carbono forjables, obtenidas en estado pastoso o en estado líquido que no se endurecían al templar y cuyo contenido de carbono era inferior a 0.025% aproximadamente. Aceros, aleaciones hierro-carbono forjables obtenidas en estado líquido con más de 0.025% de carbono aproximadamente, que se endurecen con el temple. En la época actual han desaparecido ya prácticamente de la gran industria los antiguos procedimientos de obtención de hierro en estado pastoso, que fueron el origen de las antiguas denominaciones, debido a la aparición de los aceros aleados, pues se tuvo el problema de saber que tipos de materiales existía, pues ahora hay aceros aleados de bajo contenido en carbono que se endurecen, y otros que se ablandan cuando se enfrían lentamente desde elevada temperatura. Entonces, al tratar térmicamente a un acero no se marcaban líneas divisorias claras y definidas, las antiguas definiciones perdieron interés y se pensó en establecer otras nuevas que permitieran calificar mejor los productos siderúrgicos.

Al estudiar con precisión las características mecánicas de los aceros, se vio que la facilidad de adquirir dureza con un tratamiento térmico no diferenciaba tampoco con claridad las diferentes aleaciones, pues al utilizarse aparatos de medida y de precisión, se comprobó que la dureza de casi todas las aleaciones hierro-carbono aumentaban con el tratamiento térmico, aunque en diferente proporción.

En la actualidad, las denominaciones que mayor aceptación tienen son:

**HIERRO.-** Se refiere exclusivamente al cuerpo simple hierro, con símbolo *Fe* y una pureza garantizada por un porcentaje de carbono de 0.03% aproximadamente.

**ACERO.-** Toda aleación de hierro-carbono forjable.

**ACEROS ORDINARIOS.-** Son los aceros que no contienen elementos aleados y cuyas características dependen principalmente del carbono que contienen.

Su composición suele oscilar entre los siguientes límites:

$C = 0.03 \text{ A } 1.70\%$ ;  $Mn = 0.20 \text{ A } 0.90\%$ ;  $Si = 0.0 \text{ A } 0.50\%$ ;  $P < 0.10\%$ ;  $S < 0.10\%$

**Aceros especiales.-** Son los que deben sus propiedades más importantes, principalmente, a uno o varios elementos aleados que llevan distintos del carbono. Suelen contener de 0.03 a 2.5% de carbono y uno o varios de los siguientes elementos: Cr, Ni, V, W, Co, etc., o Mn y Si en cantidades mayores que la señalada para aceros al carbono.

**Fundición.-** Toda aleación de hierro-carbono no forjable. Esta definición, que es aceptable para el 99% de los casos, resulta en la actualidad imperfecta, pues hoy en día se fabrican algunas fundiciones especiales que también son forjables.

Por lo antes estudiado, el acero se clasifica de acuerdo con los elementos de aleación que contiene sabiendo que, el carbono es el elemento más importante, por cuya razón todos los aceros se clasifican de acuerdo con el contenido de éste elemento. El acero al carbono, contiene principalmente hierro y carbono y se les clasifica como aceros *10XX*, en donde los dos primeros dígitos se refieren a los aceros *al carbono* en centésimos de porcentajes. Así, un acero 1035 es un acero al carbono con 0.35% de carbono. Existen diferentes cantidades de otros materiales en el acero al carbono, pero su contenido es tan pequeño que no afecta las propiedades físicas.

Esta clasificación de los aceros ha sido designada por la Society of Automotive Engineers (SAE) y por el American Iron and Steel Institute (AISI). Algunas de las designaciones aceptadas por ellos, como normas, se muestran en la Tabla III. Con frecuencia podrán estar cinco o más elementos de aleación y la facilidad para describir correctamente a la aleación por medio de un simple sistema de numeración, se hace imposible. Las designaciones de la Tabla III pueden servir para identificar el proceso metalúrgico empleado.

Cada acero tiene propiedades específicas y la sección de uno de ellos para una aplicación particular, amerita estudio. Así, los aceros se clasifican en la actualidad ampliamente como:

*A. Aceros al carbono*

1. De bajo carbono (menos de 0.30%)
2. De medio carbono (0.30 a 0.70%)
3. De alto carbono (0.70 a 1.40%%)

*B. Aceros aleados*

1. De baja aleación (los elementos especiales de aleación suman menos del 8.0%)
2. De alta aleación (los elementos especiales de aleación suman arriba del 8.0%)

Los aceros de bajo carbono se emplean para alambres, perfiles estructurales y órganos de fijación de máquinas, tales como tornillos, tuercas y pernos. Los aceros de medio carbono, se usan para carriles, ejes; engranes y partes que requieren alta resistencia y dureza moderada. Los aceros de alto carbono encuentran su aplicación en herramientas de corte, como cuchillas, brocas, machuelos y piezas con propiedades de resistencia a la abrasión.

<i>Aceros fabricados en Convertidor LD soplando con oxígeno</i>	<i>Aceros Bessemer</i>	<i>Aceros Siemens</i>	<i>Aceros Eléctricos</i>
<i>Fósforo &lt; 0.04%</i> <i>Azufre &lt; 0.04%</i>	<i>Fósforo &lt; 0.07%</i> <i>Azufre &lt; 0.06%</i>	<i>Fósforo &lt; 0.04%</i> <i>Azufre &lt; 0.06%</i>	<i>Fósforo &lt; 0.035%</i> <i>Azufre &lt; 0.035%</i>
<i>En general sólo se fabrican aceros al carbono (Construcción y herramientas)</i>	<i>Sólo se fabrican aceros al carbono (Construcción y herramientas)</i>	<i>Se fabrican aceros al carbono y aleados (Construcción y herramientas)</i>	<i>Se fabrican aceros al carbono y aleados (Construcción, herramientas e inoxidables)</i>

TABLA 2 Clasificación general de aceros de acuerdo con el proceso de fabricación.



FIG. 1.6  
LOS ACEROS DE MEDIO CARBONO SE USAN PARA ENGRANES, COJINETES Y PERNOS.

Aun cuando todos los aceros aleados no contienen cada una de las características siguientes, se les adjudica:

1. Mejoría en la ductilidad, sin disminución de la resistencia a la tensión.
2. Facilidad para ser endurecido por enfriamiento brusco en aceite o en aire en vez de agua, disminuyendo así la posibilidad de rajaduras o torceduras.
3. Habilidad para retener las propiedades físicas a temperaturas extremas.
4. Baja susceptibilidad a la corrosión y al desgaste, dependiendo de la aleación.
5. Promoción de las propiedades metalúrgicas deseables, tales como el tamaño fino del grano.

CLASIFICACION	NUMERO	CLASIFICACION DE NUMEROS
Acero al carbono SAE-AISI	1XX	
Carbono	10XX	1006-1098
Mecanizado libre (resultrizado)	11XX	1108-1151
Resultrizado, resultrizado	12XX	1211-1214
Manganesa (1.5-2.0%)	13XX	1320-1340
Niobio	4XXX	
C-Alo (0.25% Alo)	40XX	4024-4068
Cr-Alo (Cr, 0.70%, Alo, 0.15%)	41XX	4130-4150
Ni-Cr-Alo (Ni, 1.8%, Cr, 0.65%)	43XX	4317-4340
Ni-Alo (1.75% Ni)	46XX	4608-4640
Ni-Cr (0.45% Ni) - Alo (0.2%)	47XX	
Ni-Mo (35% Ni, 0.25% Alo)	48XX	4812-4820
Cromo	5XXX	
0.5% Cr	50XX	
1.0% Cr	51XX	
1.5% Cr	52XXX	52095-52101
Resistencia a la corrosión-calor	514XX	(AISI 400 series)
Cromo-Vanadio	6XXX	
1% Cr - 0.12 V	61XX	6120-6152
Silicio-Manganeso		
0.85 Mn, 2% Si	92XX	9255-9262
Aceros aleados, triples		
0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.20% Alo	86XX	8615-8660
0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Alo	87XX	8720-8750
3.25% Ni, 1.20% Cr, 0.12% Alo	93XX	9310-9317
0.45% Ni, 0.40% Cr, 0.12% Alo	94XX	437-9445

TABLA 3 Clasificación de los aceros.

TRATAMIENTOS TERMICOS PARA LOS ACEROS: En principio, los únicos tratamientos que se utilizaban eran los tratamientos térmicos, y se definían como procesos térmicos a que podían someterse los metales y aleaciones para modificar su estructura y constitución, pero no su composición química; la definición de tratamiento térmico dada en el *Metals Handbook* es: "Una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados y aplicadas a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que producirá propiedades deseadas". Todos los procesos básicos de tratamientos térmicos para aceros incluyen la transformación o descomposición de la austenita. La naturaleza y la apariencia de estos productos de transformación determinan las propiedades físicas y mecánicas de cualquier acero, por lo que el objeto de estos tratamientos térmicos es mejorar las propiedades mecánicas de los metales, obteniendo unas veces mayor dureza y resistencia mecánica, y otras mayor plasticidad para facilitar su conformación. Aún existe otra clase de operaciones que mejoran las propiedades mecánicas de los metales, que pueden clasificarse con la denominación de tratamientos, pero que, por su naturaleza, difieren mucho de la definición; se trata de los tratamientos mecánicos, con los que se obtiene la mejora de los metales por deformación mecánica de éstos con o sin ayuda de calor, y si se modifica también la composición química de una capa superficial se les conoce actualmente con el nombre de tratamientos termoquímicos. Clasificación de los tratamientos térmicos más comunes: recocido, temple, revenido, esferoidización, normalización, austenizado, austemplado, martenplado, y los tratamientos térmicos superficiales.

A continuación sólo hablaremos de los procesos que más se utilizan como tratamientos térmicos sin profundizar en sus distintas subclasificaciones y conceptos; básicamente tenemos austenizado, recocido, temple y revenido.

**RECOCIDO**- El recocido es un tratamiento térmico consistente en un calentamiento a temperaturas adecuadas y de duración determinada, seguido del enfriamiento lento de la pieza tratada. El objeto del recocido es el de refinar el grano, proporcionar suavidad, mejorar propiedades eléctricas y magnéticas, y en algunos casos, mejorar el maquinado de los metales y aleaciones. Y como la masa total del horno debe enfriarse junto con el material, el recocido es un proceso de enfriamiento muy lento y, por tanto, la constitución y estructura, en general, edurecen el material, al destruirlas con el recocido se consigue ablandar los metales. Practicamente, podemos decir que el objeto del recocido es ablandar los metales y aleaciones para poder trabajarlos mejor. Se practican cuatro clases fundamentales de recocidos, según la clase de refinamiento y tamaño de grano se desee o se trate de corregir: el recocido de homogeneización, el recocido de regeneración, el recocido contra acritud y el recocido de estabilización. El recocido de homogeneización tiene por objeto destruir la heterogeneidad química de la masa de un metal o aleación, producida por una solidificación defectuosa. Se realiza a temperaturas relativamente elevadas, cercanas a la de fusión. El recocido de regeneración tiene por objeto destruir la dureza anormal producida en una aleación por un enfriamiento rápido involuntario o voluntario (temple). Se realiza también a temperaturas elevadas, aunque, en general, inferiores a las del recocido de homogeneización. El recocido contra acritud tiene por objeto destruir el endurecimiento producido por la deformación en frío de los aceros. Es decir, la acritud. El recocido de estabilización tiene por objeto destruir las tensiones internas producidas en la masa del metal por su mecanización o por los moldeos complicados. Se realiza a temperaturas comprendidas entre los 100° y 200 °, durante tiempos muy prolongados que superan frecuentemente las cien horas.



TEMPLE.- Consiste el temple en el calentamiento de algunas aleaciones seguido de un enfriamiento muy rápido para impedir la transformación normal del constituyente obtenido en el calentamiento. Hay dos clases de temple: el temple estructural o martensítico y el temple de precipitación. El temple estructural o martensítico se aplica frecuentemente a los aceros y consiste en el calentamiento para obtener austenita, seguido de un enfriamiento muy rápido para obtener martensita, que es una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa tetragonal. La martensita es una fase que se origina en la transformación sin difusión de la austenita. Al no haber difusión, esta transformación tiene lugar casi instantáneamente. La transformación martensítica se da en otras aleaciones además de las férreas y su característica principal es la de ser una transformación sin difusión. El objeto del temple martensítico es, fundamentalmente, aumentar la dureza y resistencia mecánica. El temple de precipitación se aplica a algunas de las aleaciones de aluminio, magnesio y cobre; se denomina así porque el endurecimiento se obtiene por la precipitación de un compuesto químico ya que en este tipo de aleaciones no se tiene una fase austenítica. Mientras que en el temple martensítico el endurecimiento es instantáneo, en el temple de precipitación la aleación va endureciendo después del enfriamiento, progresivamente. Es necesario, incluso, acelerar el endurecimiento por calentamiento. Este comportamiento distinto es debido, a que el constituyente obtenido al final del enfriamiento es el mismo que se había obtenido en el calentamiento por no haber tenido tiempo a transformarse, dada la gran velocidad de enfriamiento. La causa del endurecimiento por temple de precipitación estriba en que las partículas finas de precipitado constituyen obstáculos que se oponen a los desplazamientos de las dislocaciones.

REVENIDO.- El revenido es un tratamiento complementario del temple y se aplica, por tanto, exclusivamente a los metales templados. La formación de martensita origina grandes tensiones residuales en el acero; por tanto, el endurecimiento casi siempre sigue de un tratamiento de revenido, el cual consiste en calentar el acero a alguna temperatura menor que la inferior crítica. El propósito del revenido es liberar los esfuerzos residuales y mejorar la ductilidad y tenacidad del acero. Hay dos clases de revenidos: el revenido propiamente dicho y el revenido de endurecimiento. El simplemente, revenido, se aplica a las aleaciones tratadas con temple martensítico. Con este tratamiento se consigue mejorar la tenacidad de las piezas templadas, a costa de disminuir su dureza. La temperatura del calentamiento es, naturalmente, inferior a la de temple, y cuanto más se aproxima a ésta y mayor es la permanencia a la temperatura máxima, mayor es la disminución de la dureza y la mejora de la tenacidad; es decir, mayor es la intensidad del revenido. La velocidad del enfriamiento no tiene ninguna influencia en el resultado del tratamiento. *EL REVENIDO DE ENDURECIMIENTO O MADURACION ARTIFICIAL*, como más comúnmente se conoce, se aplica a las aleaciones tratadas con temple de precipitación. Su objeto es precisamente acelerar la precipitación del compuesto químico que endurece el material, y, por tanto, este revenido produce un efecto contrario al revenido simple, ya que endurece en lugar de ablandar. Las temperaturas de la maduración artificial dependen de la aleación que se trata, lo mismo que la permanencia a estas temperaturas.



*CAPITULO II*

***LOS ACEROS INOXIDABLES Y SUS  
PROPIEDADES.***

## CAPITULO II

### **LOS ACEROS INOXIDABLES Y SUS PROPIEDADES.**

Existen muchas versiones sobre el origen del acero inoxidable. Una de las más dignas de crédito, afirma que un comerciante francés en chatarra se dio cuenta de que el tubo de un cañón permanecía brillante y limpio entre un montón de viejos y oxidados cañones de la Primera Guerra Mundial. Aparentemente no había sido afectado por el tiempo y la intemperie. Las investigaciones revelaron que se había agregado una cantidad excesiva de cromo al acero básico durante la fabricación de ese cañón en especial. Así, el acero inoxidable, cuna de las aleaciones más importantes que conoce el hombre, fue descubierta por casualidad, llamandose "acero sin herrumbre". En la actualidad existen más de 30 tipos standard de acero inoxidable, más incontables aleaciones especiales. El acero inoxidable simplemente es una aleación compuesta por hierro (Fe), carbono en pocas cantidades y cromo (Cr), donde éste último debe ser de por lo menos el 11.5% de la aleación. Además, se agregan otros elementos para proporcionar ciertas propiedades de maquinabilidad, resistencia a la tensión, resistencia a la fluencia, etc., que de estas nos ocuparemos después. Mientras que se emplea casi nueve veces más hierro que cromo, debemos notar que el cromo es el elemento agregado indispensable, para mejorar las propiedades de "resistencia a la corrosión". El efecto del cromo se ve cuando se agrega a la aleación el 11.5% o más de cromo, se forma espontáneamente en las superficies expuestas al aire, una delgada, plateada y altamente adherente capa de un óxido de cromo ( $Cr_2O_3$ ).

Esta fina película actúa como una barrera para retardar futura oxidación o corrosión para que con ello el acero no se oxide y de su nombre de ACERO INOXIDABLE.

## 2.1 ACEROS INOXIDABLES DE USO MAS FRECUENTE.

Con la denominación de aceros inoxidable se agrupan una serie de aceros que en determinadas condiciones resisten bien la acción de ciertos agentes corrosivos como atmósferas industriales, ambientes húmedos, ácidos de diversas clases y concentraciones, y también, el efecto de temperaturas elevadas sin sufrir una oxidación y destrucción sensible.

Conviene advertir que cada uno , o cada familia de estos aceros, que reciben el nombre de inoxidable, no son completamente inoxidable en el sentido más estricto de la palabra, ya que en realidad sólo resisten bien la acción de ciertos agentes corrosivos y en cambio, en otras circunstancias, se oxidan y corroen en forma parecida a los aceros ordinarios. Por tanto, los aceros inoxidable están clasificados en los siguientes grupos:

*1º Aceros que admiten el temple o Martensíticos; 2º Aceros Ferríticos;  
3º Aceros Austeníticos; 4º Aceros inoxidable endurecibles por precipitación.*

### 2.1.1 ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.

Son aceros al cromo que suelen recibir el nombre de aceros martensíticos por tener una estructura tipo agujas después de un enfriamiento rápido dentro de aceite ó aire.

Los aceros tradicionales suelen contener de 12 a 14% de cromo. Algunos otros aceros de este grupo que tienen menos importancia que los anteriores y que se emplean sólo para usos especiales, suelen contener de 15 a 17% de cromo y de 1 a 3% de níquel. Resisten sin oxidarse temperaturas hasta de 750° C, y todos ellos se caracterizan porque pueden ser tratados térmicamente en forma análoga a los aceros ordinarios. Las características esenciales de los aceros inoxidable martensíticos son: pueden deformarse en frío sin dificultad, son magnéticos, se maquinan con extrema facilidad con bajo contenido de carbono, tiene buena tenacidad, gran resistencia a la corrosión atmosférica y a algunos agentes químicos. El acero inoxidable martensítico tiene de 12 a 14 % de cromo y de 0.35% de carbono se conoce con el nombre de acero inoxidable para cuchillería y fue el primero que se descubrió, aunque cabe señalar que este tipo de acero es el que tiene menos resistencia a la corrosión.

Se emplean para resortes, láminas revenidas y piezas de maquinaria, en aletas de turbinas de vapor y piezas sometidas a grandes esfuerzos, se utilizan en cuchillería, instrumental quirúrgico y válvulas, con contenido de Ni se incrementa la templeabilidad y la resistencia a la corrosión.

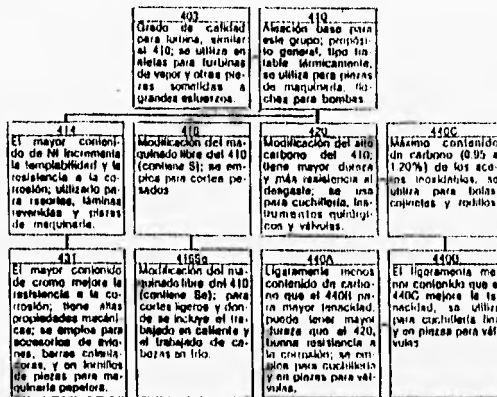


FIG. 2.1 CUADRO SINOPTICO DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.

Al terminar la Primera Guerra Mundial, se iniciaron muchos ensayos para obtener aceros inoxidables capaces de satisfacer algunas exigencias, que el acero inoxidable de cuchillería no cumplía y que interesaba conseguir. Las características mecánicas de ese acero pueden, en cierto modo, compararse con las de un acero al carbono de contenido de 0.6%, o sea, que en estado recocido presenta una resistencia de 75 Kg/mm<sup>2</sup> y una dureza de 210 Brinell aproximadamente; después de someter al material a enfriamiento severo, se puede alcanzar una dureza de más de 50 Rockwell C y, recalentando a 650° C, se obtiene una resistencia de 90 Kg/mm<sup>2</sup>.

Tratamientos Térmicos de los aceros inoxidables Martensíticos. El acero inoxidable martensítico, se caracteriza por admitir los tratamientos térmicos de temple y revenido en forma casi análoga a los aceros al carbono.

Para conseguir un temple eficaz de los aceros inoxidable, hace falta calentar por lo menos a 950° C durante tiempos convenientes, y no necesitan ser enfriados tan rápidamente. Son aceros de gran templabilidad, como puede verse en las curvas jominy de las figuras 2.2 y 2.3, por lo que el temple se consigue con un simple enfriamiento al aire o en aceite (que consiste en calentar una muestra de material de 1 in. de diámetro y 4 in. de largo, a la temperatura de austenitización, para posteriormente colocarlas en un sostén, donde un chorro de agua choca en la cara del fondo de la muestra, norma ASTM Designation a255-48T End Quench Test for Hardenability of Steel.

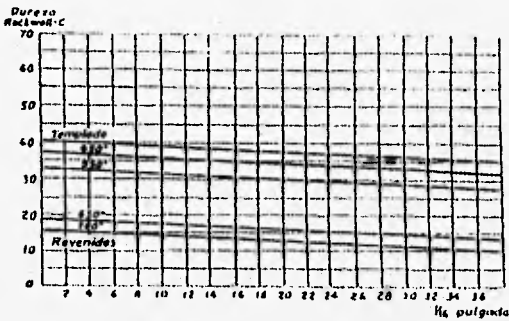


FIG.2.2 CURVA JOMINY.

Hay otra diferencia importante entre los tratamientos de los aceros al carbono y los inoxidable. En los aceros ordinarios la transmisión del calor se hace más fácil que en los aceros inoxidable debido a que bajo una temperatura determinantemente baja (aproximadamente 250° C), se requiere de aproximadamente un 50% más tiempo que con los aceros al carbono, ya que la conductividad térmica de los aceros inoxidable es muy baja.



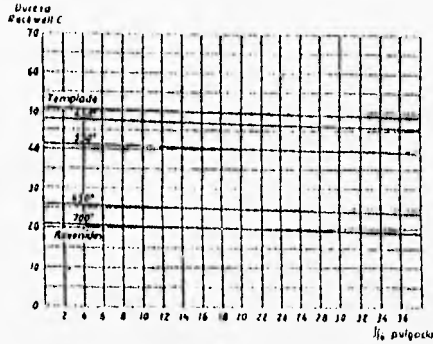


FIG. 2.3 CURVAS JOMINY.

Además, los aceros ordinarios alcanzan una temperatura de austenitización con relativa rapidez, en cambio, al calentar los aceros inoxidables se forma una cierta cantidad de austenita y a partir de ese momento comienzan a disolverse los carburos de cromo y hierro progresivamente, pero la disolución total de los carburos en la austenita no se realiza sino a partir de los 950° C. Otra diferencia con los aceros al carbono ordinarios, es que en éstos la temperatura de austenitización varía con el porcentaje de carbono, oscilando desde 750° C para C=0.90% hasta 925° C para C=0.10% y en cambio, en los aceros inoxidables para C=0.30% y para C=0.10% hay que rebasar los 950°C para que el temple sea satisfactorio. También hay una diferencia notable cuando se realiza el revenido. En los aceros al carbono se sabe que la dureza obtenida en el temple puede reducirse progresivamente aumentando la temperatura de revenido. En cambio, en los aceros inoxidables no ocurre eso. Al revenir a temperaturas crecientes se ve que la dureza no disminuye sensiblemente, lo cual quiere decir que estos aceros mantienen su dureza en caliente.

Para el acero inoxidable con poco contenido de carbono, el revenido se puede hacer a baja temperatura; cuando el revenido se hace por arriba de los 750° C, existe la posibilidad de que se de lugar a alguna precipitación de carburos, con una subsecuente reducción en la resistencia a la corrosión; sin embargo, con bajo contenido de carbono, la reducción de la resistencia a la corrosión no es demasiado severa. Así, por ejemplo, son estos aceros los empleados como materiales quirúrgicos, herramientas de dentista, etc., donde los aceros contienen 0.65% de carbono y 17% de cromo, que después del temple alcanzan una dureza de 60 Rockwell C, disminuyendo a 58 Rockwell C con un revenido de 300° C.

Para algunas aplicaciones especiales interesa disponer de aceros inoxidables que tengan todavía mayor dureza , que la que se consigue con los aceros inoxidables para cuchillería. Por lo que se recurre a los siguientes aceros inoxidables.

### 2.1.2 ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.

Los aceros inoxidables ferríticos a veces se denominan aceros de alto contenido en cromo y suelen contener un porcentaje de 15 a 27% de ese elemento. Su contenido en carbono suele ser bajo, generalmente inferior a 0.15% y sólo en los de 27% de cromo suele oscilar de 0.15 a 0.30% de carbono. Su resistencia a la corrosión es ligeramente superior a la de los aceros martensíticos del grupo anterior y los que tienen un contenido de cromo de 25 a 30% tienen un excelente comportamiento a la oxidación a elevadas temperaturas.

Los de 17% de cromo resisten sin oxidarse temperaturas hasta de 850° C y los de 27% de cromo resisten temperaturas hasta de 1050° C. Se caracterizan además por no poder ser tratados térmicamente como los aceros ordinarios, por tener en cualquier estado y a cualquier temperatura una estructura fundamentalmente ferrítica. Al iniciarse la fabricación y el empleo de estos aceros se vió que mientras el contenido de cromo de los aceros inoxidable se conservaba inferior a 15% aproximadamente, estos aceros adquirían con el temple y el revenido unas características mecánicas excelentes, comparables a las de los buenos aceros de construcción. En cambio, cuando se aumenta todavía más el contenido en cromo hasta un 16% , se modifican sensiblemente sus propiedades y características.

Al aumentar el porcentaje de cromo aumenta la inoxidable de los aceros, ganando dureza y disminuyendo su tenacidad. Para obtener altas resistencias o durezas se requiere de un trabajo en frío, laminado o estirado. El crecimiento de grano debido a calentamientos necesarios durante los procesos de fabricación o de transformación, se puede reducir por forja, laminado o estirado, lo cual en algunas fabricaciones crea problemas de gran importancia. Cuando estos aceros se calientan a temperaturas superiores a 900° C, se observa un crecimiento sensible en el tamaño de grano. Todos esos inconvenientes que acabamos de citar no impiden, sin embargo, que estos aceros sean de gran utilidad industrial y sean bastante empleados aunque en menor extensión que los martensíticos y los austeníticos. Por lo que, para obtener aceros de buena tenacidad, se debe realizar un trabajo en frío seguido de un calentamiento a 825° C, afinando con esto su tamaño de grano.

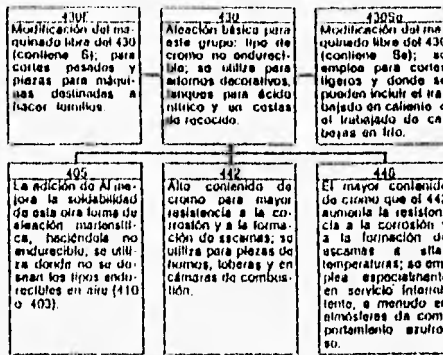


FIG. 2.4 CUADRO SINÓPTICO DE LOS ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.

Estos aceros presentan una tenacidad que depende del tamaño de grano, y del proceso de trabajo seguido en su fabricación. Si se procura afinar el grano después del trabajo en frío, el acero adquirirá mayor tenacidad que si por el contrario, es decir, se ha experimentado un calentamiento a alta temperatura que hiciera crecer el grano. Por tanto, estos aceros exigen seguramente más que ningún otro, una marcha de trabajo muy cuidadosa para evitar cualquier fractura. Si la deformación en frío se ha hecho con cuidado y con un buen tamaño de grano, estos aceros suelen tener una resistencia entre 50 y 65 Kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento entre 30 y 40 %, por lo tanto son aceros blandos. Su resiliencia en cambio es muy baja, sólo de 5 Kg/cm<sup>2</sup> y en algunos casos cuando el tamaño de grano es grande la resiliencia es aún menor.

Por lo anterior, la deformación en frío se realiza con relativa facilidad, este acero suele emplearse para fabricar alambre, fleje o chapa laminada con resistencias de 100 ó 150 Kg/mm<sup>2</sup>.

Se dice que estos aceros tienen buena tenacidad en caliente y su resiliencia aumenta extraordinariamente con simples calentamientos de 150°-200°C. Cuando estos aceros se calientan entre 450°-550° C experimentan fragilización por revenido, por ello, este fenómeno conviene tenerlo muy en cuenta para evitar que el acero quede con muy baja tenacidad. Estos aceros son muy utilizados para adornos decorativos, estampados profundos, tanques para ácido nítrico y en cestas de recocido y piezas para máquinas destinadas a hacer tornillos, se emplean especialmente en servicio Intermitente, a menudo en atmósferas de comportamiento azufroso. Esto es debido a que el pequeño porcentaje de carbono que contiene actúa como endurecedor. También, estos aceros presentan diferencias de templabilidad con el contenido de carbono ya que con 17% de cromo los aceros de 0.15 a 0.30% de C puede considerarse que experimentan un temple parcial y con más de 0.30% de C puede considerarse que admiten el temple. Para eliminar tensiones internas se les suele someter a un tratamiento de recocido a 800° C, seguido luego de un enfriamiento al aire.

### 2.1.3 LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

Son aceros cromo níqueles más inoxidables y resistentes a la corrosión atmosférica y a ciertos ácidos que los aceros correspondientes a los grupos citados anteriormente. Tampoco estos aceros pueden ser templados y revenidos ni recocidos en la forma ordinaria, debido a que en cualquier estado y a cualquier temperatura están constituidos fundamentalmente por austenita.

La austenita tiene gran estabilidad y no se transforma por el enfriamiento rápido en otros constituyentes y, por lo tanto, en estos aceros el temple no se puede producir. Estos aceros presentan una resistencia mecánica más elevada a altas temperaturas en comparación con las otras clases de aceros Inoxidables.

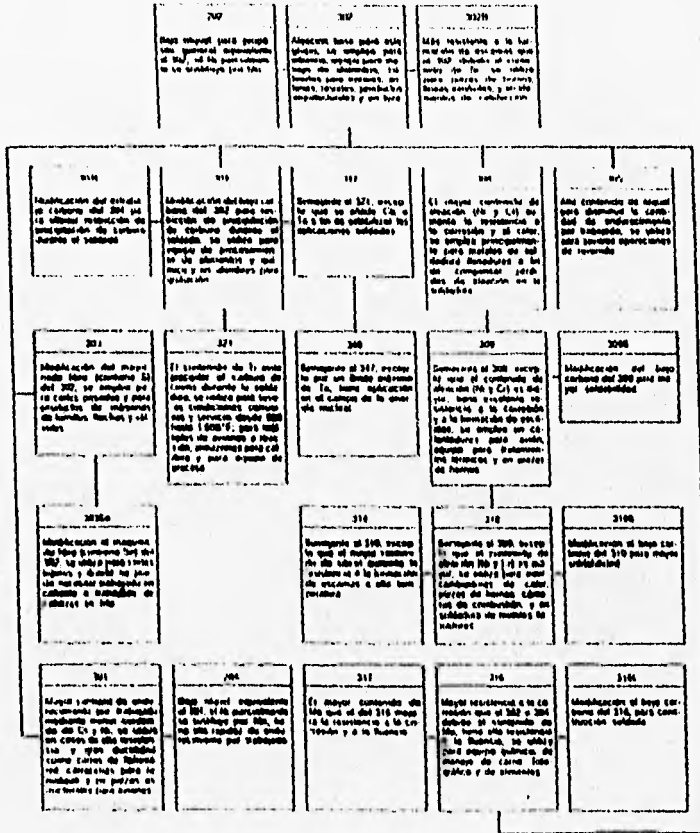


FIG. 2.5

CUADRO SINOPTICO DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

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, a elevadas temperaturas, buena resistencia mecánica y muy buena resistencia a la oxidación. Se emplean para elementos decorativos, sanitarios, elementos de hornos y calderas, instalaciones industriales, etc., además, son muy utilizados para la fabricación de piezas de motores que llegan a calentarse a elevadas temperaturas, como turbinas de gas, motores de reacción, etc.

Los aceros más importantes de este grupo son: 1.º El acero 18-8 y una serie de aceros derivados de él que con pequeñas variantes de composición se emplean para numerosos usos especiales. 2.º Los aceros cromo-níqueles parecidos a los del grupo anterior, pero con porcentajes algo mayores de cromo y de níquel, cuya composición aproximada es de 25-20 y 23-13, son muy resistentes a elevadas temperaturas y tienen gran resistencia a la termofluencia. 3.º Los aceros cromo níqueles austeníticos con un porcentaje de níquel muy elevado y superior al de cromo, de composición aproximada 19-22, 8-25, etc., que tienen muy buen comportamiento a elevadas temperaturas, y finalmente, 4.º El acero 12-12 de fácil fabricación (por ejemplo embutición). Mientras que en los aceros martensíticos y ferríticos el cromo es el principal elemento aleante, en los aceros austeníticos el níquel juega también un papel importante.

Se ha comprobado experimentalmente que la presencia de níquel en los aceros de elevado porcentaje de cromo, además de modificar su estructura microscópica favoreciendo la formación de austenita estable, ejerciendo un efecto muy notable sobre la resistencia a la corrosión.

En cambio, en los aceros austeníticos, el níquel, además de contribuir a la formación de la estructura austenítica del acero, mejora sensiblemente la resistencia a la corrosión, reforzando la influencia favorable del cromo. El comportamiento y las propiedades de estos aceros son muy diferentes de las de los aceros ordinarios y que en comparación con los aceros inoxidable martensíticos. Así, por ejemplo, es interesante señalar que mientras el ablandamiento de los aceros martensíticos y de los aceros ordinarios se realiza normalmente calentándolos a unos 800° C y enfriándolos luego lentamente, en cambio los aceros austeníticos hace falta calentarlos al menos a 1050° C y enfriarlos rápidamente, para que de ésta se consiga forma que el material quede con la menor dureza posible. Por tal motivo, los aceros austeníticos no se endurecen cuando son sometidos a un tratamiento similar al temple que se emplea para la mayoría de los aceros. Los aceros austeníticos son amagnéticos y su conductibilidad térmica es bastante baja, un 25% aproximadamente de la de los aceros ordinarios, y al ser calentados se dilatan un 25% aproximadamente más que los aceros ordinarios como se pudo observar en la tabla anterior. 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 dificultad debido a su gran ductilidad. Para eliminar tensiones originadas por trabajo en frío, basta en cambio con calentar el material a 950° C manteniéndolo a esa temperatura el tiempo suficiente para su homogeneización y luego se enfría rápidamente en agua o aceite según el espesor. Con este tratamiento no se obtiene la menor dureza, ni la máxima resistencia a la corrosión, pero puede utilizarse como tratamiento intermedio entre operaciones de trabajo en frío.



Tiene la ventaja de que a esta temperatura se forma mucho menos cascarilla que calentando a la temperatura de austenitización completa. En cambio, el ablandamiento final debe hacerse siempre calentando a 1050° C aproximadamente y luego enfriar rápidamente en agua. En general, en estos aceros cuanto más elevada sea la temperatura de calentamiento más blando queda el material. Sin embargo, conviene recordar que el calentamiento a alta temperatura tiene el inconveniente de ocasionar, un crecimiento de grano innecesario.

#### 2.1.1.2 ACEROS INOXIDABLES ENDURECIBLES POR PRECIPITACION.

Como resultado de las investigaciones que se hicieron durante la segunda guerra mundial, se diseñó un nuevo grupo de aceros inoxidable con características de endurecimiento por precipitación. En los años posteriores a la segunda guerra mundial, las industrias aeronáuticas y aeroespaciales querían disponer de aceros inoxidables con resistencia mecánica y a la oxidación en caliente y en frío superiores a las de los aceros inoxidables ordinarios, y que además tuvieran gran ductilidad para los trabajos de embutición y conformado, con buena aptitud para la soldadura. Para satisfacer esas necesidades fueron necesarios hacer numerosos ensayos e investigaciones que dieron como resultado el descubrimiento de los aceros inoxidables endurecibles por precipitación, que desde entonces forman un grupo muy característico, con propiedades de extraordinaria importancia industrial. Adiciones pequeñas de aluminio, titanio, molibdeno y cobre conducen a la precipitación de compuestos intermetálicos durante el tratamiento térmico. Estos aceros generalmente se tratan con un recocido en aceria y se surten en esa condición.

Estos nuevos aceros comenzaron a desarrollarse hacia el año 1945 y por su empleo y utilización pueden considerarse en cierto modo como una ampliación de las familias de aceros inoxidable.

Después de formados, se envejecen para alcanzar un valor de dureza y resistencia deseados. Por ejemplo, el acero inoxidable AISI 17-7 PH se trata a 1050° C para disolver los precipitados ásperos y obtener una solución austenítica uniforme. Luego se enfría el material con rapidez hasta la temperatura del medio ambiente produciéndose una solución sólida supersaturada. A esto le sigue un envejecimiento a 510° C, que resulta en un precipitado fino submicroscópico (compuestos intermetálicos) que incrementa la resistencia del acero.

Con este tratamiento la precipitación por calentamiento a 500° C aumenta la dureza hasta 45 Rockwell C, con la ventaja de que luego en los ensayos o en el trabajo en caliente se puede observar que de 400° a 600° C se mantiene el material con durezas y resistencias muy elevadas. Estos aceros tienen resistencias a la tracción del orden de 50 a 120 Kg/mm<sup>2</sup> a una temperatura de 450° C en ensayos con duraciones variables de 100 a 1000 horas y también tienen muy elevada termofluencia. Estas propiedades permiten emplear con éxito estos aceros para la fabricación de álabes, de turbinas y para piezas de motores de aviación, en las que el material debe trabajar a altas temperaturas. Sin embargo, en general estos aceros tienen mayores aplicaciones cuando sin alcanzar la mayor dureza presentan la mejor combinación de características, principalmente resistencia y tenacidad.

En resumen, los aceros inoxidable son aleaciones de alto cromo que ayudan a resistir, entre otras propiedades importantes, a la "corrosión". Es de importancia ver que factores intervienen en el fenómeno de corrosión, por lo que, a continuación se dará una explicación de este fenómeno.

### *2.3 ESTUDIO DE ALGUNAS TEORIAS Y FACTORES QUE TIENEN GRAN IMPORTANCIA EN LOS FENOMENOS DE CORROSION.*

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 y progresa luego hacia el interior.

La habilidad del material a soportar fallas de alta corrosión o fatiga de corrosión en servicio no es siempre exactamente predecible por pruebas de laboratorio, si el material es susceptible a cada proceso de falla en los ambientes de servicio, una falla de servicio repentina e imprevista puede ocurrir por la propagación de grietas rápidamente bajo la acción combinada de esfuerzo y corrosión, por lo que se considera el estudio del tema de corrosión como consecuencia de la aplicación del acero inoxidable.

Pueden diferenciarse tres tipos de corrosión: 1° La producida por el aire húmedo o por el agua mezclada con aire; 2° La producida por líquidos que contienen ácidos o sales en solución, y 3° La producida por la acción de gases.

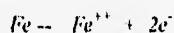
El fenómeno de la corrosión de los metales es extraordinariamente complejo ya que dentro de los 3 tipos de corrosión antes mencionados existe una dependencia de factores tales como la composición del material, la temperatura, el medio ambiente, grado de humedad, concentración y naturaleza de los líquidos que se ponen en contacto con los metales, presencia de oxígeno u otro elemento oxidante, naturaleza de la superficie de las piezas, etc.

En los últimos años ha sido muy estudiado este problema, y aunque se han desarrollado numerosas teorías, algunas son bastante satisfactorias para explicarlo, es por ello que sólo las mencionaremos brevemente.

*Teoría Ácida.* Una de las primeras teorías que sirvió para explicar el fenómeno de la corrosión fue la llamada <<teoría ácida>>. 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 explicaba 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 cascarilla, regenerándose en esta última reacción el bióxido de carbono y quedando por lo tanto en libertad el radical ácido que puede volver a actuar sobre el hierro. Según la teoría ácida, para que se produzca la corrosión es necesaria la presencia de un ácido débil como el carbónico, además del agua y el oxígeno, que son los elementos que se consideran fundamentales en la teoría electroquímica.

*Teoría Electroquímica.* Es la que tiene más aceptación en la actualidad, fué desarrollada por Evans y sus colaboradores y 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 ( como son las debidas a diferencias de composición de unas zonas a otras, ó a irregularidades en el contenido en carbono o en la distribución de los constituyentes microscópicos y macroscópicos, a desigualdades de tratamiento, a diferencias en el trabajo mecánico, etc.), se forman en la superficie metálica pequeñísimas pilas galvánicas.

Estas pequeñas pilas de corrosión están constituidas por dos electrodos que, como ya hemos explicado, tienen diferentes características y están sumergidos en un electrólito cuya naturaleza depende del medio ambiente en que se produce el fenómeno. Uno de esos electrodos es capaz de funcionar como ánodo y el otro es capaz de funcionar como cátodo. En las zonas anódicas hay un paso de átomos de hierro al agua que dan lugar a la formación de iones de hierro en la fase líquida, de acuerdo con la siguiente reacción:



La velocidad de esta reacción depende de la velocidad con que se efectúan las reacciones en el cátodo. Por ello el avance de la corrosión está controlado catódicamente. 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 siguiente reacción:



Sobre la superficie del metal se deposita óxido férrico formando una capa porosa que no impide que continúe la corrosión por la acción de agentes corrosivos, ya que éstos penetran fácilmente a través de ella y alcanzan las capas del metal que están más hacia el interior.

*CORROSION QUIMICA DIRECTA Y RESISTENCIA QUE A ESTE FENOMENO  
OFRECEN LOS DIFERENTES METALES.*

Además de la corrosión que se produce por la acción de líquidos, se produce también con frecuencia y con bastante intensidad una corrosión de tipo químico, que se desarrolla entre las fases metal-gas en lugar de entre las fases metal-líquido. Esta corrosión química directa se presenta generalmente al combinarse los metales o aleaciones con el oxígeno del aire o de los gases industriales. Experimentalmente se ha observado que la mayoría de los metales tienen una gran tendencia a combinarse con otros elementos químicos para formar precisamente los mismos compuestos que existen en la naturaleza en forma de minerales y que sirvieron como materia prima para la obtención de los diversos metales. Esta propiedad de combinarse los metales con otros elementos (oxígeno, azufre, ácido carbónico, etc.), se conoce con el nombre de afinidad química y varía mucho de unos metales a otros.

La tendencia a combinarse es débil en los metales nobles, poco oxidables y que no se corroen por la acción del oxígeno del aire, como el oro, por ejemplo, y es muy fuerte en cambio en los metales alcalinos como el sodio y potasio. En la serie electroquímica de los metales, se ordenan éstos por su afinidad, encontrándose el hierro aproximadamente en el medio de esa serie, siendo más noble que el aluminio, manganeso, zinc y cromo, pero menos noble que el estaño, cobre y plomo.

#### *LA CORROSION Y SU IMPORTANCIA.*

Al oxidarse los metales se forma sobre su superficie una capa de óxido, que los recubre completamente. El carácter, naturaleza, espesor y uniformidad de esa película tiene también una importancia extraordinaria en los fenómenos de corrosión. Si la capa es compacta, delgada, casi invisible, está bien adherida, es uniforme y resiste la acción del medio corrosivo, constituye generalmente un buen medio de protección y el proceso de corrosión no continúa. En cambio, si la capa es porosa y gruesa generalmente no sirve de protección y la corrosión penetra al interior. Así ocurre, por ejemplo, con el aluminio, el cromo y el zinc, que a pesar de ser menos nobles que el hierro resisten mejor la corrosión del aire, ya que en su superficie se forman películas de óxido que impiden que el fenómeno progrese. Al estudiar la corrosión de los metales se ha visto que en ocasiones el fenómeno se inicia muy rápidamente, pero luego la velocidad de la reacción decrece y algunas veces se para. A este fenómeno, muy característico en determinados procesos de corrosión, se le ha designado con el nombre de <<pasividad>>.

Un ejemplo muy típico se presenta con 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. Casi siempre 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 ( ver figura 2.6 ).

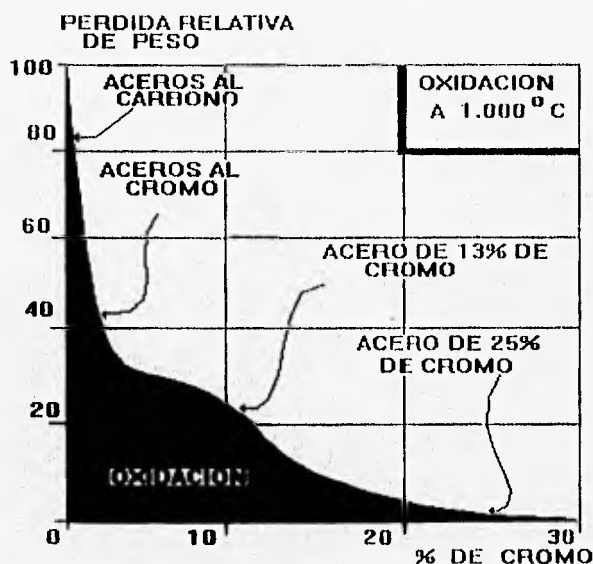


FIG. 2.6 .

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CROMO EN LA RESISTENCIA A LA OXIDACION A ELEVADA TEMPERATURA DE LAS ALEACIONES HIERRO-CROMO. ENSAYO REALIZADO AL AIRE A 1000° C DURANTE 48 HORAS.



Esta teoría está apoyada en el hecho muy conocido 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 tener un cambio rápido en la acción corrosiva, pasando el fenómeno del estado pasivo al activo. El hierro al oxidarse puede formar uno de los tres óxidos  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y  $\text{FeO}$ , que en proporciones diferentes, según los casos, aparecen formando la cascarilla superficial formada al calentar el acero a elevadas temperaturas. La cascarilla formada en los aceros a temperaturas comprendidas entre  $200^\circ$  y  $400^\circ$  C es de muy poco espesor y suele estar constituida por óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). En general el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y el  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  no suelen presentarse libres sino que suelen aparecer formando cristales mixtos con el hierro y también aparecen formando cristales mixtos de estos óxidos. El óxido ferroso se suele presentar a elevada temperatura ( $700^\circ$  a  $1400^\circ$  C) formando wustita, que son cristales mixtos formados por óxido ferroso y óxido ferrosférrico. A  $550^\circ$  C la oxidación es más intensa y la cascarilla que se produce está formada por una capa delgada exterior de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y otra inferior más gruesa de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . La cascarilla producida a temperaturas superiores a  $650^\circ$  C suele estar formada por una capa exterior relativamente delgada de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , y otra más gruesa en el interior formada por cristales de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y de hierro (que proviene del desdoblamiento de wustita formada a elevada temperatura). La composición de esta capa es variable y es más rica en hierro a medida que se acerca hacia el interior de las piezas. Esta cascarilla es compacta, adherente y difícil de remover por decapado.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> [(1) J. Paldissí en un trabajo publicado en la <<Revue de Metallurgie>>, señala que la capa que se forma por oxidación a temperaturas superiores a  $800^\circ$  C está formada por tres capas diferentes: una delgada de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , otra más gruesa de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y otra todavía de más espesor de  $\text{FeO}$  con partículas precipitadas muy finas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ].

En la actualidad se acepta que la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable (que contienen siempre elevado porcentaje de cromo) es debida a la formación de una capa superficial de óxido de cromo que impide que el ataque y que la corrosión de los aceros penetre del exterior hacia el interior. Para que un acero sea inoxidable, es necesario que se tenga la composición adecuada y medio de ataque convenientes para que se forme esa capa de óxido protector.

Cuando actúan sólo los agentes atmosféricos, la presencia del cromo es suficiente para que se forme la capa de óxido que impide la corrosión por el aire y bajo la acción de agentes corrosivos débiles.

Cuando aumenta la intensidad del ataque, para que se pueda formar la capa de óxido suficientemente protectora, es necesario mayor porcentaje de cromo, pero esto ocurre hasta un cierto límite a partir del cual ya no se aumenta la resistencia a la corrosión al aumentar el contenido en cromo. El excelente comportamiento de las aleaciones de hierro con cromo al encontrarse en presencia de determinados agentes que producen la corrosión de los aceros ordinarios, se puede comprobar estudiando la figura anterior ( fig. 2.6 ) y siguientes ( fig. 2.7 y 2.8.).

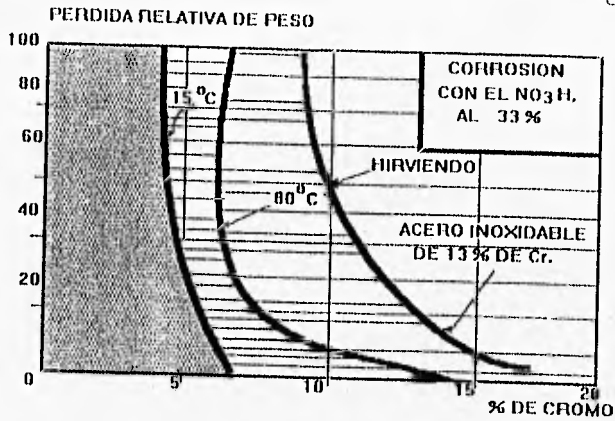


FIG. 2.7

INFLUENCIA DEL CONTENIDO EN CROMO, EN LA RESISTENCIA DE LAS ALEACIONES HIERRO-CROMO A LA ACCION DEL ACIDO NITRICO AL 33% A DIVERSAS TEMPERATURAS.

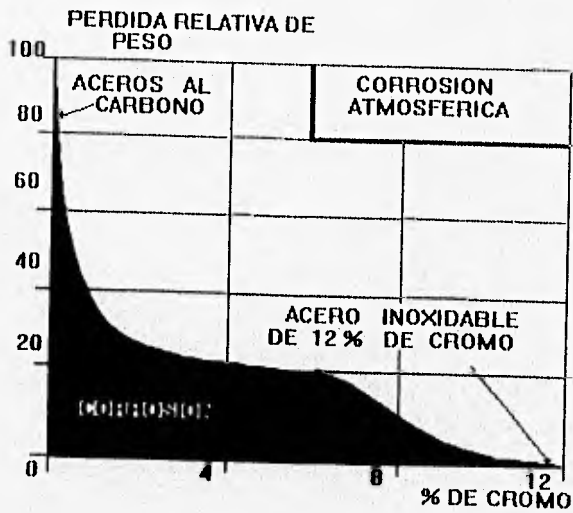


FIG. 2.8

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CROMO EN LA RESISTENCIA DE LAS ALEACIONES HIERRO-CROMO, A LA ACCION DE UNA ATMOSFERA DE CIUDAD INDUSTRIAL DURANTE 10 AÑOS.

En la figura 2.6 se pueden observar los resultados que se obtienen al ensayar en atmósferas industriales aleaciones de hierro con diferentes contenidos de cromo. Después de un ensayo prolongado de 10 años, las aleaciones de hierro sin cromo sin protección superficial llegan a perder frecuentemente de un 10 a un 90% de su peso, mientras que con porcentajes de un 3% de cromo, la pérdida queda ya muy reducida, y con 12% de cromo los aceros son ya prácticamente inoxidables. Para que los aceros resistan la acción de elevadas temperaturas es necesario, emplear contenidos en cromo más elevados que en los casos anteriores. En la figura 2.6 se puede ver lo que sucede con diversas aleaciones calentadas al aire a 1000° C durante 48 horas. Se observa que el hierro sin cromo sufre un gran ataque.

La resistencia a la oxidación aumenta con el porcentaje de cromo, observándose una mejora sensible con porcentajes variables de 6 a 12% , pero para que el material no sea atacado es necesario emplear contenidos de cromo superiores a 20%. En la figura 2.7 se señala el comportamiento de diversas aleaciones hierro-cromo en presencia de ácido nítrico al 33% calentado a diversas temperaturas. Se observa que este ácido a 15° C ataca a los aceros con menos de 6% de cromo, y en cambio no ataca cuando el porcentaje de cromo de los aceros es superior a esa cifra. Se observa que para resistir ácidos a 80° C hace falta emplear aleaciones con más de 8% de cromo y con ácidos (como el nítrico al 33%) hirviendo, es necesario utilizar aleaciones por lo menos con 12% de cromo. La adición de níquel mejora la resistencia a la corrosión de los aceros al cromo porque aumenta la estabilidad de la capa de óxido superficial y favorece su formación.

La denominación de aceros inoxidable suele dar lugar a muchas confusiones, ya que en realidad ninguno de estos aceros resisten a toda clase de ataques. Unos resisten bien a ciertos ácidos, otros a determinadas soluciones, otros resisten al calor, pero no hay ninguno que sirva para todo y en cada caso hay que estudiar cuál es el más conveniente.

Además, en el comportamiento de los aceros inoxidable, lo mismo que en el de otros muchos aceros, tienen una extraordinaria importancia los tratamientos térmicos. Si a un acero inoxidable no se le ha dado el tratamiento térmico que le corresponde, su resistencia a la corrosión puede quedar muy disminuida. En general conviene obtener estructuras ferríticas, martensíticas o austeníticas (estructuras de una sola fase) y evitar la presencia de carburos en los aceros, que disminuyen la resistencia a la corrosión.

El cromo ejerce una influencia muy favorable cuando se encuentra en solución en la martensita, ferrita o austenita, pero cuando se encuentra formando carburos no sirve para mejorar la resistencia a la corrosión de los aceros, siendo con frecuencia precisamente los carburos los principales causantes de la corrosión de ciertos aceros inoxidable en determinadas condiciones y circunstancias. El estado superficial también tiene una gran importancia; cualquier defecto o alteración superficial modifica las condiciones del ataque y disminuye su resistencia a la corrosión. Es necesario que la superficie del metal esté bien limpia, siendo necesario eliminar siempre por decapado, mecanizado o rectificado la cascarilla que aparece como consecuencia de determinados tratamientos, debiendo quedar siempre las piezas terminadas con el grado de pulimento más fino.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA  
CAPITULO III



*CAPITULO III*

***ACEROS INOXIDABLES DE APLICACION***

***QUIRURGICA.***

*CAPITULO III*

***ACEROS INOXIDABLES DE APLICACION QUIRURGICA.***

Quando se plantea la necesidad de reemplazar una parte defectuosa del cuerpo humano, o bien, la restauración de la misma, muchos médicos desecharían la utilización de un sustituto artificial en favor del trasplante de un tejido compatible de donante humano. Después de todo, los tejidos y órganos naturales contienen la proporción justa para satisfacer las funciones del organismo.



FIG. 3.1

PROCEDIMIENTOS DE CORTE QUIRURGICOS EN EL SIGLO XVII, FRANCIA. CAUTERIZACION DE HERIDAS (ANTERIOR AL PRINCIPIO DE SUTURAS)

Por lo anterior, entre los factores que han contribuido al éxito sobre el uso de materiales quirúrgicos, citemos el gran impulso en la investigación, iniciada en la década de 1950, los biomateriales, las sustancias no farmacológicas apropiadas para su inclusión en sistemas que sustituyen las funciones de los órganos y tejidos corporales. Tan importante ha sido el progreso, que no habrá lugar aquí para describir la mayoría de los muy prometedores sistemas y materiales que ya existen en el mercado, o que se encuentran en fase de investigación. Limitaremos, por tanto, esta mera introducción a algunos ejemplos de los sistemas médicos que se han beneficiado del desarrollo de los nuevos materiales y del uso del acero inoxidable en la mayoría de los casos.

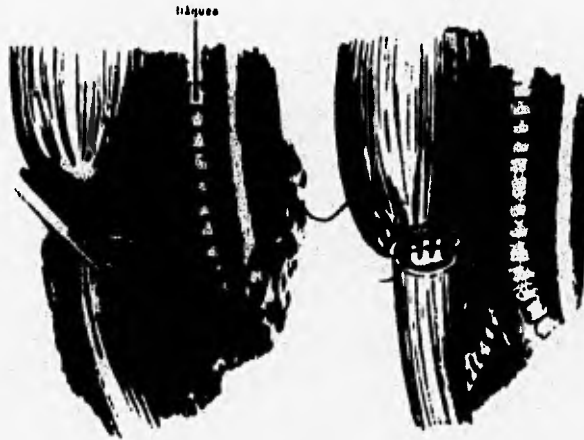


FIG. 3.2

CORTE Y SUTURA DE ESOFAGO, CON MATERIAL (HILO) DE SUTURA INERTE EN EL CUERPO.

QUIRURGIA RECONSTRUCTIVA O REPARADORA.



El comportamiento inerte constituye aún un objetivo importante para muchos propósitos, pero no hay nada totalmente inerte en el cuerpo. Más aún, los investigadores admiten que no todas las reacciones entre los materiales extraños y el organismo son necesariamente perjudiciales. En cambio, se valora cada vez más algunos materiales muy interactivos. Por ejemplo, varios materiales de implantación forman enlaces químicos con el tejido circundante, lo que estabiliza el implante, o bien, en el caso de los aceros inoxidable usados como grapas torácicas que intervienen en la formación de tejido óseo. Algunos de los materiales que han contribuido a los éxitos alcanzados en él son totalmente inertes (acero inoxidable), mientras que otros son interactivos; todos ellos deben satisfacer requisitos mecánicos y de biocompatibilidad muy exigentes. Mientras que la mayoría de los materiales deben ser elásticos y compatibles con la sangre, los materiales usados para implantes óseos y suturas tienen que ser rígidos y resistentes a la carga y flexión sin llegar a fracturarse o romperse.

Además, es deseable que los implantes óseos residan en el hueso, sin obstruir el proceso de remineralización ósea, mecanismo mediante el cual el cuerpo repone el hueso. Las prótesis metálicas constituyen desde hace tiempo, el pilar principal de ortopedistas y dentistas. Hoy mismo, muchos de los implantes dentales, de articulaciones y de huesos largos y utensilios de uso como soporte para la realización de su implante contienen titanio o aleaciones de cromo y cobalto.

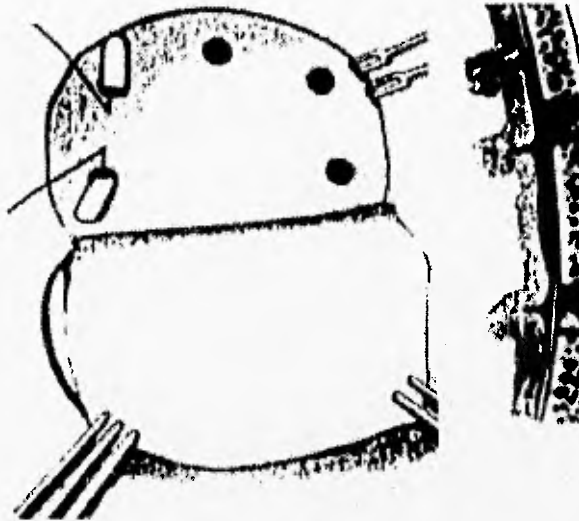


FIG. 33

SE USA ALAMBRE DENTADO DE ACERO PARA ASERRAR EL HUESO ENTRE DOS AGUJEROS. ENTONCES SE EXTRAE LA PIEZA DE HUESO, Y SE COLOCAN REMACHES (PROTESIS) PARA SOSTENER AL ELEMENTO.

Aunque uno de los riesgos (la corrosión) ha perdido hoy importancia por la utilización de aceros inoxidable, sus aleaciones y otros materiales como el caso del titanio, los implantes metálicos pueden provocar reacciones de inflamación local, no así, su uso externo como en el caso de corte de piel y suturar; por otra parte, al menos en teoría, los iones del metal pueden desprenderse del implante o material de uso externo e introducirse en el torrente sanguíneo, produciendo reacciones que a la larga pueden ser perjudiciales, por lo que toca a los aceros inoxidable el problema no tiene presencia, precisamente porque el desprendimiento de material es nulo.

A continuación se citan los materiales de acero inoxidable que tienen mayor uso en equipo de cirugía y algunas características generales de uso y forma; la forma de los instrumentos quirúrgicos es muy variada los hay planos, que fácilmente se pueden manejar, y de formas muy complicadas, como los que tienen cerraduras, dientes, agujeros ciegos e intersticios.



FIG. 34  
UTENSILIOS PARA OFTALMOLOGIA SIGLO XVII

Los instrumentos son costosos y constituyen una inversión importante para todo hospital. Cuando se abusa de ellos, se usan en forma incorrecta o se someten a limpieza inadecuada o manejo brusco, su duración se reduce, hasta en los de más alta calidad, de ahí, que se aprovechen las cualidades antes mencionadas obtenidas en los aceros inoxidables martensíticos de las series 300 ó 400, el costo de reparación o reposición se vuelve innecesariamente elevado.

Es natural que a la larga se deterioren los instrumentos en uso normal. Con el cuidado adecuado se alcanzan lapsos de 10 años o más en la vida de un instrumento de acero inoxidable. Sin embargo, la mayor parte del daño, o reducción de durabilidad obedece a la limpieza y manejo incorrectos. Los instrumentos que no son inoxidables y que se emplean en instrumental quirúrgico son los, de titanio o vitallium ( que es una aleación de cobalto).

Para el fin antes citado (suturas e implantes) existen aproximadamente 15 tipos de aceros inoxidables clasificados por el INSTITUTO AMERICANO DEL HIERRO Y DEL ACERO (AISI), compuestos exclusivamente de cromo y hierro con cantidades controladas de carbono. Comercialmente son conocidos como aceros inoxidables de la serie 300 y 400, comúnmente referidos como aceros al cromo, con pequeñas cantidades de otros elementos para proveer dureza, tenacidad, maquinabilidad, etc.

Los que se aplican cuando hay posibilidad de corrosión y de resistencia al calor, la dureza y la resistencia a la tensión de la serie 400 tiene una mejor respuesta cuando se aplica tratamiento térmico, por lo que pueden cumplir al fin de uso en equipo para suturas e instrumental para cirugía en general.

Los materiales usados en instrumental quirúrgico son de aceros inoxidable austeníticos del tipo 304-L y/o 316-L, además de la serie 400, con un contenido de carbono que no excede del 0.03%, eligiéndose dichos materiales por ser altamente resistentes a la corrosión, además, por su bajo contenido de carbono se elimina la combinación con el cromo que produce carburos, principales causantes de la corrosión, ya que evitan la formación de óxido de cromo como protector al disminuir la matriz de metal de cromo y aumentar la oportunidad de que sea atacado. Son altamente magnéticos y la diferencia significativa que existe entre estas aleaciones es la cantidad de cromo agregada al hierro en los límites de 11.5-29%.

Los aceros inoxidables martensíticos ( serie 400 )contienen de 11.5-17% de cromo como elemento, principalmente se endurecen al aire, son duros, frágiles. Algunos de los aceros inoxidables de la serie 400 que son martensíticos, incluyen los AISI tipos 403, 410, 414, 416 y 420. El material que con mayor frecuencia es utilizado como acero inoxidable para implante y prótesis de uso quirúrgico es el de tipo 316-L-SS (L significa de bajo carbono, y SS acero inoxidable por sus siglas en inglés, para mayor información referirse al capítulo I en nomenclatura de los aceros); por lo que dicho acero debe ser inerte en el tejido y tener una gran resistencia a la tensión, ya que ayudará sostener la herida indefinidamente y dar comienzo a la cicatrización.

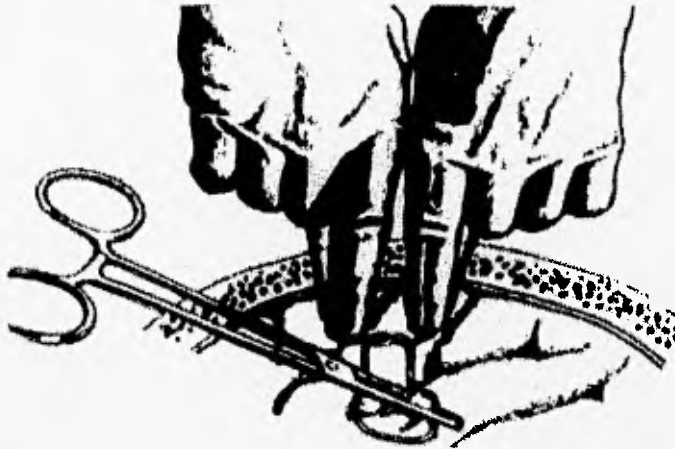


FIG. 3.5

LA PINZA DE FUERZA AYUDA A SOSTENER LOS VASOS SANGUÍNEOS, CON LO QUE PUEDEN SER LIGADOS MEDIANTE SUTURAS. DE ESTA MANERA SE DISMINUYE LA PERDIDA DE SANGRE Y LA LIGADURA ES VISIBLE EN EL CAMPO OPERATORIO. EL MATERIAL DE LIGADURA ES EL CALGUT, PROCEDENTE DE INTESTINOS DE ANIMALES, SUSTANCIA QUE SE ABSORBE ESPONTANEAMENTE.

La sutura es otra ayuda más a la curación de heridas, constituye probablemente uno de los primeros intentos del hombre por transformar una sustancia natural en biomaterial, y que es el tema que nos ocupa en el presente estudio. Bajo formas diferentes, con suturas de tripa viene cerrándose heridas desde el año 175 a. C. Las sintéticas absorbibles, fabricadas con polímeros o copolímeros del ácido glicólico, han reemplazado virtualmente a la tripa en años recientes, y las aleaciones de titanio son mucho más fuertes, pero más livianas que el acero inoxidable, algunos son maleables para producir el ángulo deseado, y otros son desechables. Todos son en extremo vulnerables al maltrato.

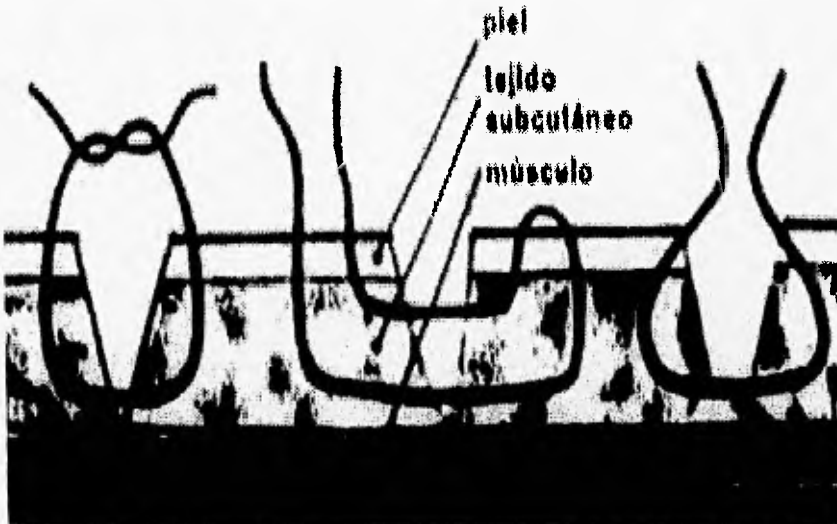


FIG. 3.6

DIFERENTES TIPOS DE SUTURA, PERFORACION Y ANUDADO.

El instrumental es sumamente variado y adecuado a la función requerida en una región anatómica. Por ejemplo en los diversos procedimientos, como los gastrointestinales, se usan instrumentos para exponer, disecar, tomar, sujetar, prender, ocluir y suturar, este último proceso (suturar) es a lo que le daremos más importancia en este trabajo. De ahí, que se tenga una amplia variedad y uso del acero inoxidable, pues en cada operación quirúrgica debe disponerse del material correcto para un hueso, articulación, tendón o cualquier otra estructura en particular, que el médico requiera.



FIG. 3.7

IZQ. DIVERSOS METODOS DE CIERRE DE UNA HERIDA. LOS TRES TIPOS DE PUNTOS SE PRACTICAN CON AGUJAS CURVAS SOSTENIDAS POR UN PORTAAGUJAS. DER. METODO DE SUTURA DE UN TENDON CUYOS EXTREMOS SE MANTIENEN ADOADOS. AGUJA RECTA.

Limitaremos al uso del acero inoxidable martensítico en instrumental quirúrgico, al requerido en suturas, basándonos en la normatividad del mismo y sus características, para posteriormente hablar sólo del material que en particular requerimos en el trabajo de ésta investigación; así, hablaremos brevemente de las normas generales para instrumental quirúrgico y particularizar en la norma para agujas de sutura, y centraremos la información en el material que utilizamos para la investigación, el cual es un acero inoxidable 420 martensítico.

Hay que notar, sin embargo, que cuando se fabrica un elemento de cirugía, se parte de una pieza base, que después se manufactura hasta darle forma final. Estas operaciones no hubieran sido posibles si se hubiese dado al acero desde un principio las propiedades finales deseadas.



Para cumplir las especificaciones finales el acero inoxidable debe experimentar cambios en propiedades después del proceso de fabricación, al convertirlo de un material suave y débil en otro más duro y resistente, pues aquí radica el problema de estudio en dicha investigación.

### *3.1 NORMATIVIDAD DEL MATERIAL QUIRURGICO.*

En México los requerimientos del instrumental de uso quirúrgico pueden basarse en las normas dadas por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), las normas son: 535 INSTRUMENTAL DE CIRUGIA GENERAL y la 537 INSTRUMENTAL DE CIRUGIA DE ESPECIALIDADES; ESPECIFICACIONES GENERALES DE INSTRUMENTAL DE ACERO INOXIDABLE PARA CIRUGIA, que tiene su origen en las Normas Internacionales ( AISI ), y es una copia idéntica de la misma.

Esta norma establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el instrumental manufacturado en acero inoxidable y señala los métodos de prueba para la verificación de las mismas. Se aplica en el proceso de la adquisición, inclusión, a menos que la norma específica del producto indique otra cosa.

Estas normas entienden por instrumental, a los utensilios metálicos manuales o no articulados que se utilizan en cirugía general y especialidades, los materiales a usarse pueden ser:

Acero inoxidable martensítico (nomenclatura IMSS: IMSSM- 10)

Acero inoxidable austenítico (nomenclatura IMSS: IMSSA- 1)

Acero al alto carbono (nomenclatura IMSS: C105W1)

Las durezas de dichos materiales deben ser:

84-87 Rockwell "15N" ( $50\pm 3$  Rc) para el material tipo IMSSM- 10 y C105W1.

$80\pm 4$  Rockwell-B (Rb) (152-176 Knoop) para el material tipo IMSSA- 1.

La resistencia a la corrosión de los materiales deben soportar las siguientes sustancias:

Solución de sulfato de cobre, para el material tipo IMSSM- 10

Cámara de niebla salina, para el material tipo C105W1

Solución de ácido cítrico, para el material tipo IMSSA- 1

Las agujas deben ser atraídas por un imán.

Las agujas deben ser evaluadas al flexionarse, es decir, las agujas no deben de romperse al flexionarse un ángulo de  $45^\circ$ , pero si antes de alcanzar un ángulo de  $85^\circ$ .

<u>IMSS</u>	<u>ISO</u>	<u>DIN</u>	<u>BSI</u>	<u>AISI</u>
IMSS M - 1	3	X15Cr13	A	410
IMSS M - 2	4	X20Cr13	B	420 A
IMSS M - 3	6a	X40(46)Cr13	D	420 C
IMSS M - 4	6a	X40(46)Cr13	D	420 F
IMSS M - 5	6a	X38CrMoV15	H	420
IMSS M - 6	6a	X45CrMoV15	I	420
IMSS M - 7	6a	GX20CrMo13	I	420
IMSS M - 8	6a	GX35CrMo17	K	420
IMSS M - 9	6a	X12CrMoS17	K	420
IMSS M - 10	5	X30Cr13	C	420 B

TABLA 3.1 ACEROS MARTENSITICOS

<u>IMSS</u>	<u>ISO</u>	<u>DIN</u>	<u>BSI</u>	<u>AISI</u>
IMSS A - 1	11	X5CrNi189(1810)	M	304
IMSS A - 2	20	X5CrNiMo1810(17122)	P	316
IMSS A - 3	17	X12(10)CrNiS188(189)	N	316
IMSS A - 4	12	X12(10)CrNiS188(189)	N	302
IMSS A - 5	14	X12CrNi177	O	302

TABLA 3.2 ACEROS AUSTENITICOS.

<u>IMSS</u>	<u>ISO</u>	<u>DIN</u>	<u>BSI</u>	<u>AISI</u>
IMSS F - 1	14	X12CrNi177	L	4030 F

TABLA 3.3 ACEROS FERRITICOS

<u>ISO:</u>	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.
<u>DIN:</u>	DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG.
<u>BSI:</u>	BRITISH STANDARDS INSTITUTION.
<u>AISI:</u>	AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE.
<u>M:</u>	MARTENSITICO.
<u>A:</u>	AUSTENITICO.
<u>F:</u>	FERRITICO.

TABLA 3.4 ABREVIATURAS DE LOS ORGANISMOS DE NORMALIZACION.

TABLA 3.5

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO (AGUJAS DE SUTURA).

DETERMINACION.

ESPECIFICACION.

ACABADO EL ACABADO EN TODA LA SUPERFICIE DEBE SER UNIFORME, LIBRE DE AREAS RUGOSAS, ASIMETRIA RESPECTO A SU EJE PRINCIPAL O ENTRE SUS COMPONENTES, BORDES PUNTIAGUDOS O AFILADOS (EXCEPTO DONDE SEA REQUERIDO), CORROSION A SIMPLE VISTA, DEFORMACIONES, DESECHOS DE PULIDO, FALTA DE LUBRICACION (EN LAS AREAS QUE LO REQUIERAN), FALTA DE MOLETEADO (EN LAS AREAS QUE LO REQUIERAN), FISURAS, FRACTURAS, GRIETAS, INCRUSTACIONES DE PARTICULAS EXTRAÑAS O CONTAMINANTES, MARCAS DE ESMERILADO, MUESCAS, POROS, RAYAS, REBABAS Y SUPERPOSICION DE MATERIAL.

SUBINCISO 06.02.1

DETERMINACION

ESPECIFICACION

ESPEJO EL INSTRUMENTAL CON ESTE ACABADO DEBE PRESENTAR UNA SUPERFICIE PULIDA DE ALTA REFLEXION.

SATINADO EL INSTRUMENTAL CON ESTE ACABADO DEBE PRESENTAR UNA SUPERFICIE LISA DE BAJA REFLEXION.

CROCUS EL INSTRUMENTAL CON ESTE ACABADO (INSTRUMENTOS DE CORTE) DEBE PRESENTAR EN LA ZONA DE CORTE, UN ACABADO SUAVE CON MARCAS DE PULIDO EN UNA SOLA DIRECCION, PERPENDICULAR AL FILO DE CORTE.

COMPOSICION QUIMICA DEBE CUMPLIR CON LO ESPECIFICADO EN LA TABLA 3.6.

SUBINCISO 06.02.2

DUREZA DEBE CUMPLIR CON LOS VALORES ESTABLECIDOS EN LA NORMA ESPECIFICA DE CADA PRODUCTO.

SUBINCISO 06.02.3

RESISTENCIA A LA CORROSION DEBE EFECTUARSE DE ACUERDO A LO SEÑALADO EN LA TABLA 3.7  
FORMA Y DIMENSIONES DEBEN CUMPLIR CON LAS DIMENSIONES ESTABLECIDAS EN LA NORMA ESPECIFICA DE CADA PRODUCTO.

SUBINCISO 06.02.5

METODOS DE PRUEBA PROCEDIMIENTO: DE ACUERDO A LO ESTABLECIDO CON ANTERIORIDAD EN LA NORMA, LA SUPERFICIE DEL INSTRUMENTAL DEBE SER INSPECCIONADA A SIMPLE VISTA PARA VERIFICAR SU ACABADO.

INTERPRETACION EL ACABADO EN TODA LA SUPERFICIE DEBE SER UNIFORME, LIBRE DE AREAS RUGOSAS, ASIMETRIA RESPECTO A SU EJE PRINCIPAL O ENTRE SUS COMPONENTES, BORDES PUNTIAGUDOS O AFILADOS (EXCEPTO DONDE SEA REQUERIDO), CORROSION A SIMPLE VISTA, DEFORMACIONES, DESECHOS DE PULIDO, FALTA DE LUBRICACION (EN LAS AREAS QUE LO REQUIERAN) FALTA DE MOLETEADO (EN LAS AREAS DONDE LO REQUIERAN), FISURAS, FRACTURAS, GRIETAS, INCRUSTACIONES DE PARTICULAS EXTRAÑAS O CONTAMINANTES, MARCAS DE ESMERILADO, MUESCAS, POROS, RAYAS, REBABAS Y SUPERPOSICION DE MATERIAL.

ADEMAS DE LAS CARACTERISTICAS INDICADAS, EL MATERIAL (INSTRUMENTAL) DEBE CONTAR INVARIABLEMENTE CON PROCESO DE PASIVADO Y CON ALGUNO DE LOS SIGUIENTES TIPOS DE PULIDO FINAL: ESPEJO, SATINADO O CROCUS.

### *3.2.2 CARACTERISTICAS FISICAS DEL ACERO INOX. QUIRURGICO APLICADO EN AGUJAS DE SUTURA.*

En teoría, la aguja a la cual esta ensamblado el material de sutura no cumple función alguna en la cicatrización de la herida, pero la selección inadecuada de las agujas puede prolongar la operación y lesionar los tejidos por suturar. Este daño innecesario a la integridad estructural de los tejidos por parte de la aguja podría originar necrosis tisular (bordes en la piel), con o sin la complicación de una infección y, posiblemente, el que los tejidos no se mantengan aproximados. Ello puede acompañarse de deshiscencia o evisceración en la herida, o fernias Inclsionales y cualquier otra complicación de la herida, como hemorragias, la formación de fitulas y otras complicaciones que dependerán de los tejidos suturados y de la zona corporal en la que se haya hecho la herida. Las agujas quirúrgicas, necesarias para la colocación de las suturas en los tejidos, deben estar diseñadas a modo de que con ellas se pase el material de sutura por los tejidos con un traumatismo mínimo. Así, han de tener filo suficiente para penetrar los tejidos con resistencia mínima. Deben tener la rigidez necesaria para no doblarse, pero ser suficientemente flexibles antes que romperse.

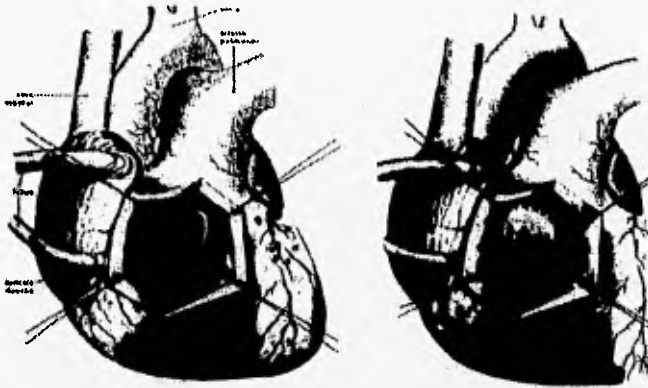


FIG. 3.8

CIRUGIA CARDIACA. EL OBJETO DE LA OPERACIÓN ES OBTURAR EL AGUJERO EXISTENTE ENTRE LOS VENTRICULOS, MEDIANTE LA SUTURA DE COLGAJOS DE MUSCULO CARDIACO O INSERTANDO UNA PIEZA DE MATERIAL SINTETICO, POR MEDIO DE AGUJAS CURVAS PRISMATICAS DE ACERO INOXIDABLE.

Además, tendrán que ser asépticas y resistentes a la corrosión, a fin de evitar la inoculación de microorganismos o cuerpos extraños en la herida. Deben elaborarse con un acero que permita el temple de alta calidad. Las hechas de acero al alto carbono pueden corroerse, dejando huecos que podrían alojar microorganismos. El acero inoxidable es resistente a la corrosión, y si se trata térmicamente le confiere a la aguja resistencia y flexibilidad máximas. La flexibilidad es la capacidad de la aguja para doblarse en un ángulo dado bajo una cantidad específica de presión, a la que se le da el nombre de carga. Todas las agujas de aleación de acero inoxidable deben ser templadas para obtener la resistencia suficiente y adecuada para que se les use satisfactoriamente en los tejidos para los cuales son diseñadas.

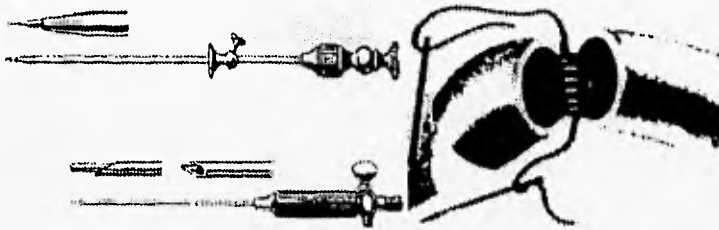


FIG. 3.9

LOS ORGANOS TUBULARES, COMO EL INTestino Y LOS VASOS SANGUINEOS, DEBEN SUTURARSE CON GRAN PRECISION PARA QUE (DER.) NO SE PRODUZCA REZUMAMIENTO NI OBSTRUCCION EN EL INTERIOR DEL ORGANNO, SE UTILIZAN MATERIALES SINTETICOS Y AGUJAS CURVAS; LAS PUNTAS Y LOS TIPOS DE AGUJAS DE LA IZQ. AYUDAN A MINIMIZAR UNA OBSTRUCCION EN UNA SECCION TUBULAR.

Las características mecánicas de los tejidos, como la resistencia a la tracción y al desgarre, trauma, penetrabilidad, densidad, elasticidad y espesor, parecerían ser factores que deben considerarse en la elección de agujas, y en cuanto al material de sutura se refiere, deben considerarse la resistencia a la tracción y al desgarre, que afectarían en la capacidad del material para mantener los tejidos en posición, por lo que es necesario concentrarse en las características que afecta el paso de la aguja por los tejidos, como la dureza, el acabado superficial y la forma de la aguja. Las especificaciones que a continuación se enlistan son los requerimientos para la función básica de las agujas quirúrgicas para sutura. Es importante señalar que las especificaciones de funcionamiento representan los parámetros básicos para un buen diseño del producto, o bien en este caso, para una buena aplicación del material adecuado.



- *Las agujas deben soportar las sustancias generadas por el cuerpo humano, que pueden llegar a ser corrosivas para las mismas.*
- *Estas deben de presentar una cierta dureza, para así lograr una buena resistencia al desgaste durante su uso.*
- *La frecuencia del uso de las agujas es una sola, es decir, se utilizan únicamente en un solo proceso de saturación y después son desechadas.*
- *Hay que tomar en consideración el tiempo de almacenamiento de las mismas, es decir, desde su fabricación hasta el momento de su uso, por lo que hay que considerar posibilidad de contacto con sustancias que pueden llegar a ser corrosivas, así como métodos empleados para su esterilización.*
- *Las agujas deben presentarse como métodos empleados un buen acabado superficial, así como un buen afilado.*
- *Deben tener resistencia adecuada para no romperse con facilidad.*
- *Suficiente rigidez para no doblarse en exceso, pero la flexibilidad necesaria para no romperse al doblarse.*
- *Filo suficiente para penetrar el tejido con la mínima resistencia, pero no más fuerte que el tejido al que penetra.*
- *Diámetro semejante al del hilo que lleva, para reducir la posibilidad de dañar el tejido.*
- *Forma y tamaños apropiados para el tipo, condiciones y accesibilidad del tejido que se sutura.*
- *Estar libre de corrosión y raspaduras para evitar infecciones y daño al tejido.*
- *Obteniéndose agujas de gran cantidad de formas y tamaños.*

### CARACTERISTICAS DE LAS PUNTAS DE LAS AGUJAS.

Puntas de Corte. Cuando el tejido es difícil de penetrar, como la piel, tendones y tejidos resistentes del ojo, se prefiere una punta de corte afilada.

Punta de corte convencionales. Poseen dos bordes cortantes opuestos y un tercero que da una configuración triangular al cuerpo de la aguja.

Punta para corte inverso. Estas agujas tienen una configuración triangular a lo largo de todo el cuerpo, los bordes cercanos a la punta están afilados a modo de formar puntos precisos.

Puntas de corte lateral. Son relativamente planas tanto en la punta como en la base, tienen bordes angulados a los lados.

Punta en forma de troncar. Las puntas tienen sus extremos muy afilados.

Punta roma. Se utilizan para suturar tejidos friables como el hígado.

Punta en forma de cono. El cuerpo de la aguja se estrecha para terminar en una punta afilada.

El cuerpo varía en calibre, largo, forma y acabado. La curvatura puede ser de 1/4, 3/8, 1/2, ó 5/8 de circunferencia. Las agujas con depresiones o surcos en la parte interna o externa de su curvatura se fijan mejor al porta-agujas, ésta propiedad prácticamente elimina la posibilidad de que la aguja se tuerza, gire o se balancee en cualquier posición en que se encuentre respecto al porta-agujas.

### 3.3 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE 420.

El acero inoxidable tipo 420 (AISI) es un acero martensítico resistente a la oxidación en caliente en atmósferas oxidantes hasta de 700°C y hasta 500° C en atmósferas reductoras. A diferencia de los aceros Inoxidables austeníticos, los aceros al cromo como el caso del tipo 420 no están sujetos a la precipitación de carburos. Sin embargo, presentan un crecimiento de grano que se produce rápidamente cuando se alcanzan temperaturas de 900° C o mayores. Esta clase de aceros es muy endurecible, aun al aire tiene características de endurecerse rápidamente. En el enfriamiento, a partir de las temperaturas de fusión pueden llegar a ser excesivamente duros y frágiles, a menos que se aplique un precalentamiento y un postcalentamiento. Es un material magnético con un grado de acero fuertemente endurecible, utilizado en servicios donde se requiere alta dureza y resistencia a la corrosión. Durezas mayores que 50 Rockwell C pueden obtenerse cuando el contenido de carbono es aproximadamente de 0.03%. También es utilizado en cuchillería y en Instrumentos de cirugía (tarjas, lavabos, tubería de gas y vapor de agua, etc.). Debe hacerse una observación especial sobre el *color* de estos aceros, que se emplean corrientemente para la decoración y para la fabricación de utensilios domésticos, cuchillería en particular. Se les hecha en cara, a menudo, su color azulado y frío, opuesto al brillo más cálido y amarillento tipo plata. Este aspecto depende del poder de reflexión de estos aceros, que es muy pequeño.

La composición química del acero inoxidable tipo 420, así como sus propiedades mecánicas se muestran en las siguientes tablas:

<u>ANÁLISIS DE ACERO INOXIDABLES TIPO 420:</u>			
<i>CARBONO</i>	<i>0.15% mín.</i>	<i>AZUFRE</i>	<i>0.03% máx.</i>
<i>MANGANESO</i>	<i>1.00% máx.</i>	<i>SILICIO</i>	<i>1.00% máx.</i>
<i>FOSFORO</i>	<i>0.04% máx.</i>	<i>CROMO</i>	<i>12-14%</i>
<u>PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO INOXIDABLE TIPO 420.</u>			
<i>(TEMPLADO EN ACEITE A 1050° C, REVENIDO A 250° C)</i>			
<i>PORCENTAJE DE ELONGACION POR CADA 2 in, %</i>			<i>8.0</i>
<i>PORCENTAJE DE REDUCCION DE AREA, %</i>			<i>25.0</i>
<i>DUREZA BRINELL</i>			<i>512</i>
<i>RESISTENCIA A LA TENSION, PSI</i>			<i>250,000</i>
<i>RESISTENCIA A LA DEFORMACION, 0.2% DE DESVIACION, MPa</i>			<i>1,485</i>

TABLA. 3.6 ANÁLISIS PARA EL ACERO INOXIDABLE 420.

Las propiedades mecánicas de estos aceros inoxidables martensíticos se controlan a través de trabajos en caliente.

Antes de discutir el efecto que tiene el trabajo en caliente sobre las propiedades mecánicas de este tipo de aceros es útil tener un entendimiento cualitativo de las relaciones entre fases en los aceros martensíticos inoxidable. La figura 3.1 muestra la sección que tienen 12% de Cr del diagrama de equilibrio Fe-Cr-C y ejemplifica las fases existentes en los aceros inoxidable 12% Cr. Comparando la figura 3.1 con la figura 3.2, el diagrama de equilibrio Fe-C, podemos ver la relación entre el 12% de Cr y la fase del carburo de Hierro. La temperatura máxima a la que los aceros inoxidable 12% de Cr pueden ser austenitizados evitando la formación de ferrita se ha bajado.

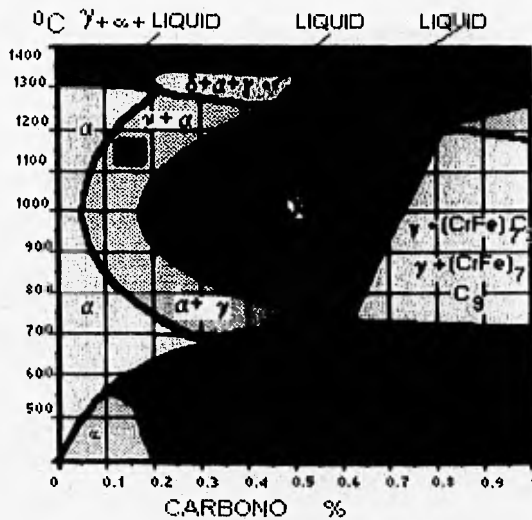


FIG. 3.10 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Fe-Cr-C.

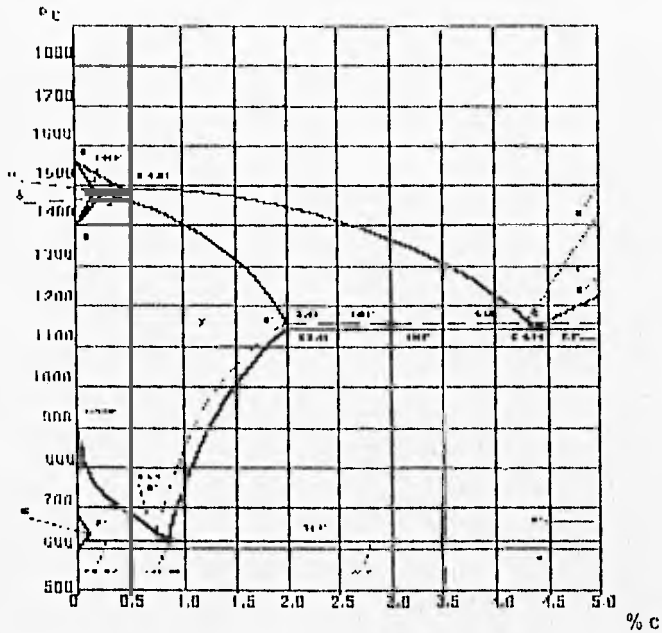


FIG. 3.2

### 3.3 TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO INOXIDABLE 420.

Por otro lado, el punto de velocidad máxima de descomposición de la austenita para este tipo de acero inoxidable se sitúa 50° C más bajo que para el acero con 0.16% de carbono; el periodo de incubación es mayor, pues la descomposición empieza únicamente al cabo de 4-5 minutos. La austenita se vuelve aún más estable a causa del mayor contenido de carbono. El punto martensítico desciende hasta 225° C.

El aumento del contenido de carbono traslada las transformaciones rápidas de la austenita hacia temperaturas inferiores, sin provocar la aparición de transformaciones intermedias. A esta acción del carbono corresponde una mayor templabilidad. Estos aceros se templen simplemente al aire, incluso si sus dimensiones son importantes; son verdaderos aceros autotemplables. La dureza aumenta hasta 1100° C en función de la temperatura de temple. La estructura del metal templado es una martensita de tipo clásico.

El temple de estos aceros se hace normalmente a 1000° C en aceite o al aire. Esta temperatura es la más baja que se puede aplicar, si se requiere obtener una dureza suficiente del metal de temple o simplemente disminuir de tensiones. Es preciso aumentar la temperatura de temple hasta 1100° C si se requiere conseguir la dureza máxima. Como la conductibilidad calorífica de estos aceros es pequeña, deben tomarse ciertas precauciones durante el calentamiento cuando se trata de piezas de dimensiones considerables.

Un calentamiento demasiado brutal puede provocar tensiones que pueden causar roturas. Las grietas que se producen de esta manera, son, muy a menudo, internas. Cuando se templen estos aceros se está obligado a realizar inmediatamente el revenido correspondiente, para evitar que aumenten con el tiempo las tensiones y se produzcan fisuras.

Presentan muy buena resistencia a la corrosión frente al aire del medio ambiente no contaminado y frente a las aguas dulces y vapor de agua con ausencia de cloruros. Se recomienda un precalentamiento antes del proceso de temple que es una temperatura recomendada para piezas con las siguientes particulares: secciones de diversas durezas, piezas previamente endurecidas, piezas con geometrías muy pequeñas y complejas, piezas con variaciones extremas en su geometría y secciones muy caprichosas, piezas que han sido maquinadas obteniendo a través de este proceso resistencia a la tensión o dureza superficial, piezas con una capa desarrollada de corrosión en su superficie; el precalentamiento debe estar en el rango de 675-760° C.

El tratamiento de austenitización debe hacerse en rangos de tiempo entre los 30 y 90 minutos para las temperaturas antes mencionadas. Para un medio de temple en aceite las piezas deben ser mayores o iguales a 6.4 mm (1/4 in) de espesor; de lo contrario se recomienda usar un medio de temple al aire.

Los recocidos deben ser a la misma temperatura a la que fue expuesto en el precalentamiento en el mismo medio de enfriamiento obteniendo una dureza HRC entre 48-56 con una resistencia a la tensión entre 1105-1515 MPa; los rangos de temperatura para el temple que nos dan las propiedades medias anteriores está entre 205° C como mínimo a 370 ° C como máximo.



Para un proceso de recocido máximo crítico la temperatura entra en los 830-885° C adquiriendo el material una dureza HRB de 86-95, y es recomendado donde las subsecuentes transformaciones del material en cuanto a conformado severo se refiere. El tiempo de temperatura del tratamiento se mantiene en el mínimo posible para prevenir la descarburización o el excesivo crecimiento de grano, si no se cuenta con una atmósfera controlada, por lo que se recomienda un revenido entre 250° C y 510° C, pues las mayores temperaturas de revenido darán lugar a alguna precipitación de carburos, con una subsecuente baja o reducción en la resistencia a la corrosión. El aire de enfriamiento debe estar a la temperatura de la cámara; dicha cámara debe tener un enfriamiento entre 15 a 25° C por hora siendo recomendada la aplicación de este recocido para piezas previamente endurecidas, piezas con variaciones extremas en secciones, particularmente para los tipos 420 y 431. El efecto del Cr en los diagramas de equilibrio y en las relaciones de fases de los aceros es marcado en el comportamiento de transformación y en el endurecimiento del acero. Para obtener las óptimas propiedades mecánicas en estos aceros es necesario un tratamiento de austenitización, el cual disuelva todo el carbono presente e incremente la austenita. Las propiedades en recocidos o revenidos de estos tipos de acero son de gran importancia para los industriales ya que pueden ser utilizados de diferentes formas. Como ejemplo a continuación se muestra la tabla de propiedades de algunos aceros martensíticos a los cuales en un estudio se les aplicó un recocido:

AISI TYPE	ESFUERZO DE TENSION (Psi).	ELONGACION %	REDUCCION DE AREA %.
403	75,000	35	70
410	75,000	35	70
414	115,000	20	60
416	75,000	30	60
416 Se	75,000	30	60
420	95,000	25	55
431	125,000	20	55
440A	105,000	20	45
440B	107,000	18	35
440C	110,000	14	25

Los resultados de la prueba de Impacto en los aceros inoxidables martensíticos, por ejemplo el tipo 420 indica que estos aceros endurecidos tienen una tenacidad satisfactoria a la temperatura ambiente. El nivel de tenacidad depende directamente de la dureza del metal que es obtenida por el recocido. La microestructura de estos aceros inoxidables martensíticos influyen en su tenacidad; estudios han demostrado que pequeños incrementos de ferrita a su vez incrementan la tenacidad en los aceros disminuyendo su dureza.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

De acuerdo a las investigaciones realizadas y con los datos anteriores, se encuentra que el material acero inoxidable tipo 420 martensítico es adecuado para la fabricación de agujas de sutura, además de ser propuesto en uso bajo la norma del IMSS. Este acero es inmune a productos alimenticios, soluciones esterilizantes, muchos químicos orgánicos y colorantes, y una gran variedad de químicos inorgánicos. Estos aceros, y sus modificaciones, son de los materiales indicados para usarse en más de un 25% en que un acero inoxidable es usado, rebasados con un 50% por los aceros inoxidables austeníticos 302 y 304. En resumen el acero 420 puede soportar ataques corrosivos por salmueras de sodio, calcio, ácido fosfórico y licores usados en la industria de obtención de la pulpa de papel, y en la industria donde existen ambientes extremadamente corrosivos. El 420 también es usado (en forma muy extensa) para implantes quirúrgicos, donde debe soportar el ambiente hostil del cuerpo humano por mucho tiempo. *Por lo que podemos decir que el material procesado adecuadamente con sus tratamientos adecuados y corroborar con las pruebas pertinentes como evidencias, puede efectuar eficientemente su trabajo como aguja para sutura, comparando las características bajo la norma y los requerimientos propios del material.*



CAPITULO IV

***DESARROLLO EXPERIMENTAL:***

***1.- TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO INOXIDABLE***

***420.***

***2.- LIMPIEZA Y PULIDO EN LA ELABORACION PARA***

***AGUJAS DE SUTURA.***

CAPITULO IV

*DESARROLLO EXPERIMENTAL:*

**1.- SELECCION DEL TRATAMIENTO TERMICO PARA EL ACERO INOXIDABLE 420.**

**2.- LIMPIEZA Y PULIDO EN LA ELABORACION PARA AGUJAS DE SUTURA.**

**4.1 SELECCION DEL TRATAMIENTO TERMICO PARA EL ACERO INOXIDABLE  
420 PARA AGUJAS DE SUTURA..**

En base a las necesidades para la fabricación de agujas de sutura, es necesario establecer el tratamiento térmico, que proporcione características óptimas en cuanto a propiedades mecánicas. Así, los siguientes, son los Requerimientos del material basado en las normas dadas por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y las especificadas en el Diario Oficial de la Federación, que se usaron para considerar las etapas de trabajo adecuadas, las cuales consisten en:

\* Obtener una Dureza entre 84-87 Rockwell "15N" ( $52 \pm \text{HRC}$ ) para un material tipo IMSSM-10 y C105W1 (de acuerdo a la nomenclatura del IMSS).

\* Observar que el magnetismo de las agujas sea positivo.

Además de utilizar las normas, se utilizará un estudio metalográfico y de composición química que se realizó en agujas comerciales (ver tabla 4.1 ), donde se obtuvieron las características que se compararían a las de trabajo del material en estudio. De ahí, que quede establecido el seguimiento con el de las normas del IMSS, pues hay que notar que el material empleado debe estar cumpliéndolas al utilizar un acero inoxidable 420. Enseguida se muestran los datos obtenidos:

MUESTRA No.	ELEMENTO EN %.			
	Cr	Ni	Mn	Mn
MT26	10.915	1.028	1.741	1.469
MT37	10.276	1.123	1.852	1.773
E.U.A.	9.30	0.616	1.785	1.190
JAPON	15.36	5.012	0.256	0.62
INDIA	9.50	0.920	0.775	0.47

TABLA 4.1 RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO PRACTICADO A 5 MUESTRAS DIFERENTES (COMERCIALES)

La tabla anterior muestra el análisis de composición química de diversas muestras provenientes de 3 países, donde se aprecia que las tres primeras muestras tienen un contenido de cromo menor a lo requerido para ser un material inoxidable martensítico y los contenidos de los otros elementos aleantes difieren del rango establecido por las normas tanto de ASM como del IMSS, esto se debe a que las agujas fueron fabricados con acero inoxidable especial CUSTOM 455 que no es martensítico.

AGUJA, NÚMERO DE IDENTIFICACION.	DUREZA PROMEDIO (RC).
MT 37 (INDIA)	54.3
TC 12 (INDIA)	56.5
MT 37 (E.U.A.)	48.4
MT 26 (E.U.A.)	51.1
TC 12 (E.U.A.)	55.2
MC 12 (E.U.A.)	53.3
TC 19 (E.U.A.)	65.0
MT 20 (E.U.A.)	61.4
(JAPONESA)	57.3

TABLA 4.7 REPORTE DE DUREZAS TOMADAS A DIVERSAS MUESTRAS DE AGUJAS DE ACUERDO A SU CODIFICACION.

En la segunda tabla se muestra que las durezas tomadas a las muestras comerciales, fluctúan entre 48 y 65 HRC, siendo la de menor dureza las tomadas a las agujas E.U.A. MT 37 y de mayor dureza a las E.U.A. TC19, ambas provenientes de E.U.A. Como se podrá apreciar, algunas de las durezas son superiores a la establecida por el IMSS. Para comenzar nuestro estudio se determinó que el temple para el acero martensítico utilizado en la elaboración de las agujas se efectúa a 1010° C para empezar a entablar una relación con las propiedades normativas del IMSS, por lo que las primeras pruebas se realizaron a ésta temperatura, para posteriormente ir subiendo la temperatura y cerrar un mejor rango de cualidades con dicha variación hasta llegar a los 1050° C.

Lo anterior se corrobora con la literatura, pero la recomendación para el caso de espesores más pequeños que 2.5 cm. es la de 1050° C y un revenido reelevador de esfuerzos a 300° C, a reserva del comportamiento del material con cambios en sus características que pudieran presentarse durante el proceso.

Una vez establecida la temperatura con los datos anteriores sólo nos queda establecer los componentes del material y comparar con las agujas comerciales, por lo que en la literatura observamos que de acuerdo a la mundial estándar UNEF 3404 acero inoxidable martensítico (1) nos da la siguiente composición química para el acero inoxidable 420 martensítico debe ser:

**Carbono** 0.15% como mín.

**Manganeso** 1.00% como máx.

**Cromo** 12.00 - 14.00%

**Silicio** 1.00%

**Fósforo** 0.04%

**Azufre** 0.03%

**Níquel** 1.00% como máx.

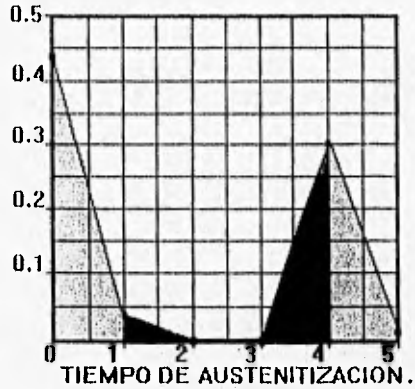
---

<sup>1</sup> Metals Handbook.- Heat Treating; pág. 770

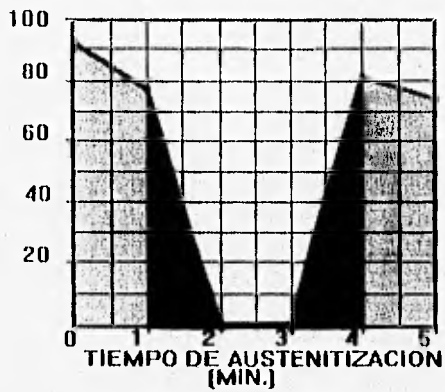


Los primeros resultados se muestran a continuación:

RESISTENCIA A LA TENSION (MPa).



DUREZA HRB.

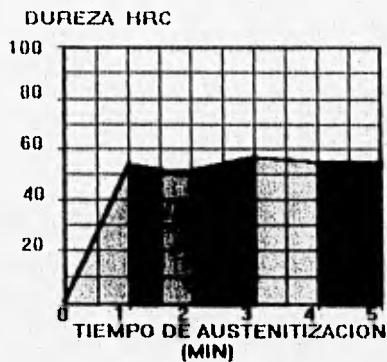


GRAFICA(S) 1 Y 2. COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL RESPECTO A  
LOS TIEMPOS DE AUSTENITIZACIÓN VS. DUREZA, Y RESISTENCIA.

T = 1050°C. MEDIO DE TEMPLE AIRE.

Con lo anterior y lo descrito en literatura agrupamos lotes de muestras de alambre para realizarles diferentes tratamientos térmicos, teniendo como variables a la temperatura y tiempo de austenización, medios de temple, y temperatura y tiempo de revenido. Todas las muestras fueron tensionadas y se les tomó dureza para tenerlas como parámetros de comparación entre sí y la literatura. El temple se realizó en aire tal como lo muestran en la literatura a una temperatura fija de austenización de 1010° C, con variaciones de tiempo de 1 a 5 min. Durante el austenizado, aquí las agujas mostraron una dureza muy inferior de acuerdo a las normas con una resistencia a la tensión inferior también. La observación denotada aquí es que después del tratamiento térmico las agujas se rompían con una simple acción manual. La dureza obtenida se realizó por medio del microdurómetro Vickers debido a que no es posible disponer de una muestra fácil de sujetar y manipular, por lo que se nos obligó, por el espesor de las probetas (agujas) a realizar un "montaje". Una vez montadas y pulidas las probetas se tomaron valores de la microdureza, dichos valores obtenidos en las muestras sirven de comparación entre los metales y/o tratamientos elaborados. El ensayo de tensión se realizó en una máquina universal de pruebas marca Instron para obtener la máxima resistencia del material, así como, también su resistencia a la fluencia.

Como se puede apreciar, debido a la gran fragilidad presentada por este material, no se pudieron obtener resultados confiables de las muestras sometidas a 2 y 3 min. de temperatura. de austenitización, ya que al colocar las muestras en el cabezal de la máquina éstas se rompían. Sin embargo, a grosso modo se pudieron obtener resultados de las muestras que fueron austenitizadas durante 1, 4 y 5 min. teniendo una variación tan irregular que se consideraron nulas en relación a nuestro estudio. De los resultados anteriores se determinó templarlas en aceite para observar su comportamiento ante este, así como aumentar la temperatura de austenitización, para obtener una uniformidad en la difusión del carbono durante el calentamiento, como se ve en las siguientes gráficas.



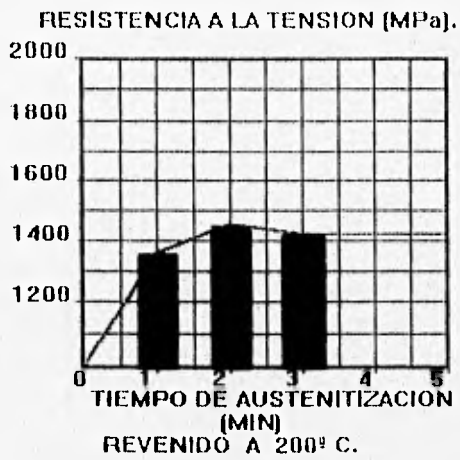
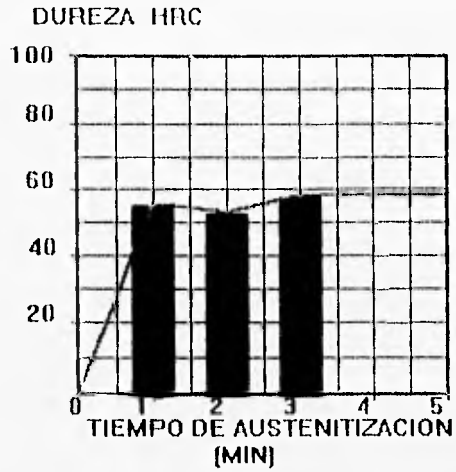
GRAFICA(S) 3. COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL RESPECTO A  
LOS TIEMPOS DE AUSTENITIZACIÓN VS. DUREZA, Y RESISTENCIA.  
T= 1050°C. MEDIO DE TEMPLE ACEITE.

Los tratamientos térmicos consistieron en tomar lotes de 50 muestras y llevarlas a una temperatura de austenitización de 1050° C y revenir los lotes entre 200 y 300° C, enfriarlas al aire o aceite, comparar las características en ambos casos y determinar el resultado óptimo. Llevandonos a precisar un control de temperatura (para asegurar un mejor tratamiento). Sin embargo, no será inútil indicar a continuación los "colores de revenido" que se visualizaron después de dicho proceso en cada una de las pruebas, dichos colores son tomados por el metal después de mantenerlo a temperaturas en las que la oxidación todavía es muy superficial, además de haberse enfriado y estar a temperatura ambiente, y que no son los mismos para los aceros inoxidable que para los aceros ordinarios. Así pues, se pueden admitir las siguientes equivalencias en los casos donde se presentan las temperaturas indicadas:

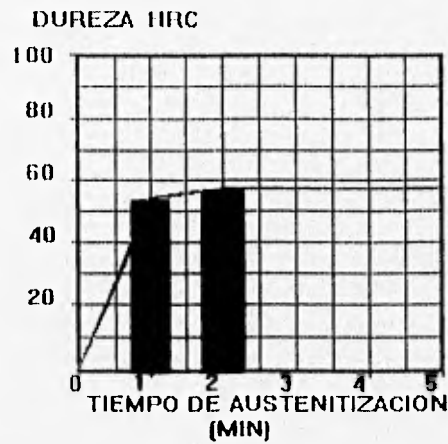
COLORE DE REVENIDO	ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS
AMARILLO PAJA CLARO	290° C
AMARILLO PAJA	140° C
MARRON PURPURA	390° C
PURPURA	450°
AZUL CLARO	530° C
AZUL OSCURO	600° C

TABLA. 4.3. DIFERENTES COLORACIONES DE ACEROS INOXIDABLES

MARTENSITICOS A DIFERENTES TEMPERATURAS.



GRAFICA(S) 4 Y 5 COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL RESPECTO A  
LOS TIEMPOS DE AUSTENITIZACION VS. DUREZA, Y RESISTENCIA  
T= 1050 MEDIO DE TEMPLE ACEITE



GRAFICA(S) 6 Y 7 COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL, RESPECTO A

LOS TIEMPOS DE AUSTENITIZACION VS DUREZA, Y RESISTENCIA.

T= 1050 MEDIO DE TEMPLE ACEITE

**TEMPERATURA DE REVENIDO:** 200°C para las probetas 1-9 A ( ver el apéndice A).

**TEMPERATURA DE REVENIDO:** 300°C para las probetas 10-18 A ( ver el apéndice A).

**TIEMPO DE REVENIDO EN AMBOS CASOS:** 120 minutos.

**EN LA(S) PRUEBA(S) 1 SE OBTIENEN LAS SIGUIENTES RELACIONES ESTADISTICAS:**

**MEDIA:** RESISTENCIA A LA TENSION= 1440 Mpa;

RESISTENCIA A LA FLUENCIA 1424 MPA.

**DESV. ESTANDAR** 362.1 Y 392.1. EN EL MISMO ORDEN.

**EN LA(S) PRUEBA(S) 2 Y 3 SE OBTIENEN LAS SIGUIENTES RELACIONES ESTADISTICAS:**

**MEDIA:** RESISTENCIA A LA TENSION= 621.40 Mpa.

RESISTENCIA A LA FLUENCIA 612.1 MPA .

**DESV. ESTANDAR** 569.0 Y 567.4. EN EL MISMO ORDEN.

**EN LA(S) PRUEBA(S) 4 Y 5 SE OBTIENEN LAS SIGUIENTES RELACIONES ESTADISTICAS:**

**MEDIA:** RESISTENCIA A LA TENSION= 1482 Mpa.

RESISTENCIA A LA FLUENCIA 1464 MPA .

**DESV. ESTANDAR** 392.1 Y 402.5, EN EL MISMO ORDEN.

Con lo anterior al hacer las comparaciones de las resistencias (tensión y fluencia) cuando no existe tratamiento térmico con las muestras que si lo tienen se observó que fueron menores, además con respecto a la dureza podemos ver que los parámetros no son los adecuados en cuanto al tiempo y el medio de temple (aire) ya que se presentaron durezas menores que la requerida, recordando que la dureza requerida debe estar en un intervalo de 52 HRC  $\pm$  5 HRC, por lo que en las gráficas vemos una dureza promedio de 20.5 HRC, además, al observar las probetas a simple vista y doblarlas como prueba de flexión manual se rompían sin en el menor esfuerzo , y observando una alta cascarilla de escamación.

Al realizar las pruebas con temple en aceite y aumentar la temperatura de austenitización a 1050°C, aún se presentaba la fragilidad con las probetas al someterlas a la acción de la carga, con un valor constante durante todo el tiempo del ensayo de tensión, obteniéndose resistencias muy bajas a la tensión y a la fluencia, teniendo valores promedio de 300 MPa y 170 MPa respectivamente. De acuerdo a las gráficas 1, 2, 3 y 4, muestran que los valores de dureza aumentaron por encima de la norma. Se observa también que las durezas en los tiempos de austenitización 1, 2, 3 minutos fueron las que cumplían con la norma, por lo que se decidió únicamente tomar en cuenta estos valores de tiempo para posteriormente hacer pruebas de revenido en el material y evitar la fragilización que se venía presentando. Los revenidos se realizaron a 200° C y 300° C durante 2 horas. En las gráficas se observa que las resistencias a la tensión y fluencia aumentaron un promedio de 1900 Mpa y 1700 Mpa respectivamente, y que las durezas están muy por encima de la norma donde los mejores resultados se obtuvieron con temperaturas de austenitización de 1050° C y revenido de 300° C durante 2 horas. De los resultados anteriores se hicieron pruebas para bajar el tiempo de revenido manteniendo los 300° C constantes. Aunque los tiempos de austenitización seguían fluctuando entre 1 y 3 minutos, y los resultados se observan en las gráficas 5, 6 y 7.



Como ahí se plasma, los mejores resultados se obtuvieron cuando las muestras se revinieron a 300° C y 30 minutos con resistencias a la fluencia y a la tensión de 1900 MPa y 2010 MPa respectivamente, y con una dureza promedio de 50 HRC; comparativamente con las muestras revenidas a 60 minutos, la resistencia a la tensión y fluencia fué prácticamente la misma, pero la dureza bajó en consideración y no se obtuvo un rango homogéneo. Otro factor a considerar en nuestro estudio fué el del control de la atmósfera , ya que, aunque en la literatura se marca como alternativa que no sea necesario, las muestras seguían presentando escamas heterogéneas como resultado del tratamiento térmico.

Se establece entonces la recomendación de que el tratamiento térmico se lleve a cabo en atmósferas protectoras y controladas, ya sea de hidrógeno, amoníaco disociado, y gases inertes como el argón ó helio, además se recomiendan atmósferas endotérmicas o inertes para evitar cualquier carburización o descarburización, u oxidación, aunque es común utilizar hidrógeno, este elemento en piezas relativamente muy pequeñas (espesores menores de 2.5 cm.) puede causar por hidrógeno fragilización, por lo que las últimas pruebas realizadas fueron hechas con una atmósfera de argón; esto por ser la atmósfera disponible y económica en el mercado.

Para evaluar los tratamientos térmicos propuestos con la atmósfera mencionada: se utilizó un horno que en el momento se tenía disponible del tipo de tubo transversal marca Lindberg (ver características horno 1 página anterior), y se acomodaron alambres de nuestro material en dos dispositivos para depositar dos tipos de probetas diferentes dentro de la cámara del horno (ver fotografías de los dispositivos en el apéndice C), de acuerdo a la geometría que éste presentaba:

a) Probeta de 0.68 mm. de diámetro por 200 mm. de longitud. La idea de tener una longitud de 200 mm. era para que en las muestras se pudieran realizar ensayos de tensión, aunque se iban a distorsionar las piezas.

b) Probeta de 0.68 mm. de diámetro por 25 mm. de longitud; de las cuales se tienen dos modalidades: probetas rectas y probetas semiconformadas por el dado de troquelado. Por lo que toca a las agujas estas estuvieron acomodadas en hileras, teniendo una separación entre cada aguja de medio centímetro 5 mm. Las agujas ahora conformadas tienen una longitud menor debido a que esa dimensión es la del producto terminado, y también por que estas muestras eran las que utilizamos para realizar las pruebas de limpieza del material.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las dos últimas pruebas del tratamiento térmico:

**TEMPERATURA DE REVENIDO PARA TODAS LAS PROBETAS:** 200°C (ver apéndice A).

**TIEMPO DE REVENIDO:** 30 min. para las probetas 1-3A; 1-3B y 1-3C (ver apéndice A).

**TIEMPO DE REVENIDO:** 60 min. para las probetas 1-3A'; 1-3B' y 1-3C'.

**EN LA(S) PROBETA(S) 1-3A HASTA 1-3C SE OBTIENEN LAS SIGUIENTES RELACIONES ESTADÍSTICAS:**

**MEDIA:** RESISTENCIA A LA TENSION= 2010 Mpa.

RESISTENCIA A LA FLUENCIA 2010 MPA.

**DESV. ESTANDAR** 63.0 Y 61.0. EN EL MISMO ORDEN

**EN LA(S) PROBETA(S) 1-3A' HASTA 1-3C' SE OBTIENEN LAS SIGUIENTES RELACIONES ESTADÍSTICAS:**

**MEDIA:** RESISTENCIA A LA TENSION= 1674.40 Mpa.

RESISTENCIA A LA FLUENCIA 1860.0 MPA.

**DESV. ESTANDAR** 505.8 Y 501.7. EN EL MISMO ORDEN.

Los resultados obtenidos en las últimas pruebas no indicaron que las durezas se mantuvieron dentro de la norma y que la resistencia a la tensión era considerablemente buena. Para asegurar estos resultados se repitieron las pruebas, además de variar las temperaturas y tiempo de revenido, con la idea de utilizar la menor temperatura y el menor tiempo de dicho tratamiento térmico. Dándonos el estudio anterior en forma más precisa el tratamiento, la resistencia a la corrosión y la ductilidad, además de la dureza, y el revenido el relevado de esfuerzos adecuado, sin afectar a los microconstituyentes o las propiedades mecánicas; por lo que la atmósfera recomendable es de argón que no causa fraglización, existe poca oxidación y precipitación de carburos. De lo anterior existen 13 resultados que son los convenientes a utilizar para obtener una dureza dentro de las normas los que son:

El tratamiento nos arroja las siguientes propiedades del material, que entran dentro de las normas antes mencionadas, por lo cual es el óptimo y así tenemos:

- 1) Resistencia a la tensión promedio de 2042.67 MPa.
- 2) Resistencia a la fluencia promedio de 2031.67 MPa.
- 3) Dureza RC promedio de 56.57.
- 4) Estructura martensítica con carburos finos precipitados.

Todos estos resultados se han obtenido después de un temple en aceite. El temple al aire daría una dureza un poco más baja del metal templado o después de un revenido de eliminación de tensiones, atenuándose o desapareciendo esta diferencia después de revenidos a temperaturas elevadas (arriba de los 300° C). Como se requiere conservar la dureza máxima se debe hacer un simple revenido de eliminación de tensiones a 200-300° C, que es suficiente para disminuir dichas tensiones, sin provocar cambios estructurales sensibles. Este revenido da la mejor combinación posible de dureza y la estructura más favorable para la resistencia a la corrosión. La dureza depende muchísimo del tiempo de revenido; podemos añadir que su disminución continúa si el revenido dura más de 1 hora.

Vemos que el carburo  $(CrFe)_3C$ , primero que se forma al comienzo del revenido, se enriquece de cromo y, a continuación, se transforma progresivamente en  $(CrFe)_7C_3$ , primero, y en  $(CrFe)_{23}C_6$  más tarde. De ahí, que la pésima resistencia observada en las primeras pruebas podría depender del empobrecimiento local en cromo de la matriz en las zonas que rodean los granos de carburo. Por lo que se realizaron pruebas, tanto de tensión, como de rugosidad, y así cerrar más el rango de los resultados obtenidos; a continuación se muestra la tabla pertinente a las pruebas de dureza y rugosidad:

No. DE PRUEBA	DUREZA (H RC)	RUGOSIDAD ( $\mu m$ ).
1	39.25	8.5
2	45.46	8.5
3	45.78	8.5
4	45.74	8.6
5	46.1	8.6
6	48.25	8.6
7	48.81	8.45
8	49.86	8.5
9	50.41	8.5
10	51.2	8.51
11	51.41	8.6
12	51.6	8.6
13	51.73	8.6

No. DE PRUEBA 8

TIEMPO DE AUSTENITIZACION.	TEMPERATURA DE AUSTENITIZACION.	TIEMPO DE REVENIDO.	TEMPERATURA DE REVENIDO.	DUREZA (HRC).	DUREZA (HV).
1 min.	1050 °C	30 min.	200	62.3	660
1 min.	1050 °C	60 min.	200	62.6	667
1 min.	1050 °C	60 min.	300	49.8	511
1 min.	1050 °C	120 min.	300	50.6	623
2 min.	1050 °C	120 min.	200	52.6	657
2 min.	1050 °C	30 min.	300	62.3	651
2 min.	1050 °C	60 min.	300	64.2	637
2 min.	1050 °C	60 min.	400	49.2	604
2 min.	1050 °C	120 min.	400	51.1	630
3 min.	1050 °C	60 min.	300	62.3	660
3 min.	1050 °C	60 min.	400	64.6	643
3 min.	1050 °C	120 min.	400	61.1	630
2 min.	1050 °C	SIN	SIN	64.2	637

TABLA 4.4 ULTIMA PRUEBA DEL TRATAMIENTO TERMICO.

El resultado óptimo de tratamiento térmico requerido es el siguiente:

- a) Temperatura de austenitización a 1050°C
- b) Tiempo de austenitización 2 min.
- c) Atmósfera protectora de argón (gas inerte).
  - I.- Gasto del gas 20 lts /min.
  - II.- Presión 125 Kg./cm<sup>2</sup>.
- d) Temple en aceite.
- e) Temperatura de revenido 200°C
- f) Tiempo de revenido 30 min.
- g) Enfriamiento al aire, a presión y temperatura atmosférica dentro de la cámara del horno utilizado en el revenido.

14	51.87	8.6
15	52.12	8.6
16	52.45	8.5
17	52.83	8.5
18	52.98	8.5
19	53	8.46
20	53.58	8.47
21	54.13	8.47
22	54.6	8.5
23	54.9	8.5
24	55.24	8.6
25	55.5	8.5
26	55.81	8.6
27	56.43	8.6
28	56.9	8.5
29	57.04	8.5
30	58.1	8.5
31	58.3	8.5
32	58.6	8.5

TABLA 4.5 MEDICION DE DUREZA Y RIGIDEZ.

El horno comercial propuesto para la realización del tratamiento térmico de las agujas para sutura consta de una cámara de 6" (152.4 mm.) de ancho, 12" (304.8 mm) de largo y 5" (127 mm) de alto (ver características horno 2). Considerando que se introducirán charolas de 127 mm de ancho, 254 mm de largo y 15 mm de alto.

Por lo que toca a las agujas estas estarán acomodadas en hileras, teniendo una separación entre cada aguja de 1 mm. aproximadamente, para evitar el efecto que presenta el contacto con otras charolas, por lo que para las dimensiones de nuestras charolas, se estaría pensando en 63 agujas por hilera, habiendo 11 hileras a lo largo y 15 columnas a lo alto, con lo que se hace un total de 10395 agujas por charola. Además las charolas deberán ser construidas de malla cerrada para facilitar el flujo de calor entre las agujas.

Los hornos utilizados en la evaluación y valoración de las condiciones del tratamiento térmico en la investigación, con atmósfera controlada (protectora) y convencionales, presentan las siguientes características:

#### **HORNO 1 CON ATMOSFERA PROTECTORA.**

- a) Mufia de refractario, con tubo de cristal refractario PYREX de 5cm. de diámetro por 70 cm. de largo.
- b) Temperatura 0-1500°C.
- c) Controlador de temperatura termopar.
- d) Horno de inducción (220 V).



**HORNO 2 DE PRODUCCION Y CON ATMOSFERA PROTECTORA.**

- a) Mufla de refractario .
- b) Temperatura 0-1500°C.
- c) Controlador de temperatura termopar digital-analógico.
- d) Horno de inducción (220 V).
- E) Cámara de 152.4 mm de ancho, 304.8 mm de largo y 127 mm de

alto.

**HORNO 3 CON ATMOSFERA CONVENCIONAL.**

- a) Mufla de refractario con cubierta de acero y tres charolas integradas.
- b) Temperatura 0-500°C.
- c) Controlador de temperatura termopar.
- d) Horno de inducción (220 V).

## 4.2 SELECCION DEL EQUIPO DE LIMPIEZA, PULIDO Y PRODUCTOS QUIMICOS, PARA EL ACERO INOXIDABLE 420 APLICADO EN LA ELABORACION DE AGUJAS DE SUTURA.

### Objetivos:

4.2.1.- Evaluar los equipos y medios de pulido y limpieza para el acabado superficial de las agujas para sutura.

4.2.2.- Pasos a seguir en la limpieza y pulido de agujas de sutura.

### *INTRODUCCION.*

Cualquier textura superficial que se le de a los aceros inoxidables y los grados de acabado pueden especificarse de acuerdo a los requerimientos de la aplicación. Una vez que el acero ha llegado a su fabricación final pueden tener un acabado brillante por cualquiera de los siguientes métodos: pulido y limpieza mecánica, pulido electrolítico, pulido y acabado por granulado, pulido por humedad a presión de flujo. Algunas veces se pueden usar más de 2 métodos en un proceso como combinación. Además, cualquiera de estos procesos pueden involucrarse con tratamientos térmicos o químicos, para producir la superficie deseada en la pieza en estudio.

Para la limpieza de agujas de sutura en acero inox. martensítico 420, se requiere de una limpieza en primera instancia, que combata los compuestos de aceites y partículas antes del tratamiento térmico, así como los compuestos provenientes del proceso de enderezado y esmerilado, además de una limpieza y pulido después de realizado el tratamiento térmico, para decapar el material hasta su pulimento. Como las piezas a pulir son muy pequeñas, se requiere que el método de limpieza sea por inmersión ultrasónica, ya que éste mecanismo remueve las partículas muy adheridas en la superficie. Además, sirve para limpiar los barrenos de los cuales están provistas las agujas conformadas, cuyo tratamiento es el de someterlas a desengrasantes y agua la llave después del maquinado y soluciones ácidas o alcalinas después del tratamiento térmico.

Además se debe añadir un pulido mecánico con solventes químicos en una base de jabón concentrado como baño, inmersas las piezas en figuras de porcelana como abrasivo; y por último un acabado superficial por medio de un pulido electroлитico y/o mecánico. Por lo que basados en la norma para agujas de sutura del IMSS y el Diario Oficial de la Federación para un Acero inox. martensítico (nomenclatura IMSS: IMSSM-10), se debe cumplir que:

**\* El acabado superficial en todos los bordes y superficies de las agujas debe ser uniforme, libres de rebabas, fisuras, marcas de esmerilado, fracturas, rayaduras, áreas rugosas, muescas, corrosión, poros, puntas romas o deformadas que afecten la funcionalidad de la aguja. El acabado final requerido debe presentar una superficie pulida de alta reflexión.**

De acuerdo a las referencias se dice que las piezas deben limpiarse con baño alcalino en un medio de ultrasonido, en cualquiera de las etapas de conformado y maquinado, en los que el medio de suciedad sean propiamente aceites o sus derivados. El proceso de desbaste mecánico o pulido mecánico se debe realizar después del tratamiento térmico y de todos los procesos de conformado y maquinado, ya que se recomienda para quitar las rebabas posibles, así como la capa de óxido producida por el tratamiento térmico.

Para dar brillo con alta reflexión, el proceso debe ser seguido por un acabado final consistente en un electropulido, ya que es el proceso que puede dar el acabado requerido de acuerdo a las características del acero inox. martensítico 420.

Se realizaron pruebas con el método de ultrasonido; los medios de baño de inmersión, el tiempo y la temperatura fueron las variables que determinaron la limpieza del material, por lo que se realizaron 22 pruebas con combinaciones diferentes de las variables clasificadas en : tipo de baño de inmersión, temperatura y tiempo. Se debe recordar que la limpieza ultrasónica está basada en el principio de cavitación que es la rápida forma y desaparición de burbujas minúsculas dentro de un líquido, causadas por la introducción de ondas sonoras de alta frecuencia. La ventaja fundamental de la limpieza ultrasónica es su habilidad para penetrar en fisuras muy pequeñas, en cavidades y en conjuntos complejos que en su mayor parte resultan "intocables" con cualquier otro método. Cabe recordar que los tres componentes de un sistema de limpieza ultrasónica son:

- 1.- Un tanque para contener al líquido limpiador.
- 2.- Un generador ultrasónico para convertir la corriente del suministro en energía eléctrica de alto voltaje y de alta frecuencia.
- 3.- Un transductor para convertir la energía eléctrica de alta frecuencia en energía mecánica.

A estos elementos esenciales pueden añadirse opciones tales como calentadores para los tanques a fin de mantener una temperatura de limpieza más eficiente.

Se tomaron agujas recién cortadas para después someterlas a limpieza de desengrase, así mismo se conjuntaron grupos de agujas que provenían del proceso de afilado y del tratamiento térmico, para ver su comportamiento con diferentes soluciones, aplicando únicamente ultrasonido. De esta manera, en la siguiente tabla se acientan las observaciones realizadas.

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	SOLUCION	OBSERVACIONES DEL DESENGRASE ANTES DEL TRATAMIENTO TERMICO DE LAS PIEZAS
1	20	AGUA CORRIENTE DE GRIFO Y JABON.	SIN LIMPIEZA DE GRASA, CON RESIDUOS DE MAQUINADO.
1	20	ALCOHOL	IDEM
1	20	ACETONA	IDEM
5	20	AGUA DESTILADA	POCO DESENGRASE A SIMPLE VISTA
5	20	ALCOHOL	IDEM
5	20	ACETONA	EXISTE DESENGRASE A SIMPLE VISTA
10	20	AGUA CORRIENTE DE GRIFO Y JABON.	SIN DESENGRASE
10	20	ALCOHOL	DESENGRASE A SIMPLE VISTA
10	20	ACETONA	DESENGRASE Y SEPARACION DE PARTICULAS SOLIDAS (REBABA) ASENTADAS EN EL FONDO DEL RECIPIENTE
15	20	AGUA Y JABON	DESENGRASE MUY SIMPLE
15	20	ALCOHOL	DESENGRASE NOTORIO
15	20	ACETONA	DESENGRASE TOTAL DE LA PIEZA.
20	35	AGUA Y JABON	DESENGRASE SUPERFLUO
20	35	ALCOHOL Y ACETONA	IDEM
20	35	ACETONA	DESENGRASE PARECIDO A LA PRUEBA DE 15 mm Y 20° C.
30	35	AGUA Y JABON	DESENGRASE MINIMO
30	35	ALCOHOL Y ACETONA	IDEM, CORROSION DE LA PIEZA.
30	35	ACETONA	SIN CORROSION EN LA PIEZA, DESENGRASE MINIMO, SIN ASENTAMIENTO DE MATERIAL.
15	60	ACETONA	DESENGRASE SIN ASENTAMIENTO DE MATERIAL
15	60	ALCOHOL	IDEM
15	60	ACETONA	IDEM, CORROSION DE MATERIAL
15	60	ALCOHOL	IDEM

TABLA 4.6 PRUEBAS DE LIMPIEZA.

De acuerdo a la referencia bibliográfica 6<sup>o</sup>, se nos indica que una grasa persistente es aquella que ocasiona ciertas manchas y coloraciones que nos permiten distinguir ó clasificar al desengrase en bueno, superfluo ó mínimo, con un campo de observación a cierta magnificación (10 x). En nuestro caso se hizo la observación a 32 x en un macroscopio HÜND, Wetzlar y Unión, modelos Bi-13408, provistos de un cañón y cámaras fotográficas; por lo que basándonos en este contexto, se hicieron las anotaciones pertinentes a las observaciones dadas en la tabla anterior.

La limpieza ultrasónica sirvió para quitar parte de los compuestos sólidos del maquinado y conformado de la pieza sin afectar su filo (conformado y maquinado) y superficie (textura), se hace hincapié que aproximadamente en un rango no mayor a 60-80°C se consigue una limpieza extrema y una capa a penas apreciable de óxido en los baños. Se establece que el mejor baño es de Acetona por encima de la temperatura ambiente, pues la pieza presenta un mejor acabado superficial y libre de impurezas, esto se comprobó al visualizar la pieza en el microscopio y comparándola con una pieza comercial. También fué recomendado utilizar tricloroetano para la eliminación de partículas como se muestra en la tabla siguiente:

TIEMPO (min.)	TEMPERATURA (°C)	SOLUCION	OBSERVACIONES DEL DESENGRASE DE LAS PIEZAS ANTES DEL TRATAMIENTO TERMICO.
1	20	AGUA CORRIENTE DE GRIFO Y TRICLOROETANO.	CON LIMPIEZA DE GRASA, CON RESIDUOS DE MAQUINADO.
1	20	TRICLOROETANO Y ALCOHOL	IDEM
1	20	TRICLOROETANO Y ACETONA	IDEM
5	20	TRICLOROETANO	POCO DESENGRASE A SIMPLE VISTA
5	20	TRICLOROETANO	IDEM
5	20	TRICLOROETANO	EXISTE DESENGRASE A SIMPLE VISTA
10	20	TRICLOROETANO	CON DESENGRASE
10	20	TRICLOROETANO	DESENGRASE A SIMPLE VISTA Y EN EL MICROSCOPIO.
10	20	TRICLOROETANO	DESENGRASE Y SEPARACION DE PARTICULAS SOLIDAS (REBABA) ASENTADAS EN EL FONDO DEL RECIPIENTE
15	20	AGUA Y JABON, CON TRICLOROETANO	DESENGRASE EVIDENTE Y OPTIMO.
15	20	TRICLOROETANO	DESENGRASE NOTORIO Y OPTIMO.

4.7 PRUEBAS DE LIMPIEZA CON TRICLOROETANO.

Como se puede observar, el tricloroetano no permite tanto manchado en las piezas como la acetona, ya que evapora con mayor rapidez. La limpieza después del tratamiento térmico, consistió en la utilización de una vibradora mecánica con solución abrillantadora y abrasivos de diferentes formas y materiales. Se recomienda que se lleve a cabo una relación de 3:1, en cuestión de volumen de material a pulir y material abrasivo, esto quiere decir que se tienen 3 partes de material cerámico por una parte de agujas, inmersos en agua con 2 ml de jabón concentrado.



Es así como, se hicieron pruebas de pulido mecánico donde, las variables a definir fueron: efecto sobre el filo, acabado superficial, reflexión del material después del pulido, tiempo, y modo de inmersión; de acuerdo a la relación mostrada en la tabla siguiente.

PRUEBA DE PULIDO No.	No. DE PROBETAS.	TIEMPO DE PERMANENCIA (min)	MATERIAL DE PULIDO, TIPO Y FORMA.	LIQ. DE INMERSION Y CONCENTRACION (%).
6.5	6 RECTAS y 5 CONFORMADAS	50	BALIN DE ACERO INOX. DE 1/8" DE DIAMETRO.	TIPO Te-165, COLOR PURPURA AL 2%, CON UN PH DE 3.
2a.	16 RECTAS y 5 CONFORMADAS	75	ESTRELLA DE PORCELANA DE 3 PUNTOS.	TIPO Te-410, COLOR PURPURA AL 2%, CON UN PH DE 12.
2b.	15 RECTAS y 5 CONFORMADAS	35	CILINDRO DE PORCELANA DE 4 mm DE DIAM. POR 17.7 mm. DE LONGITUD.	TIPO Te-985, COLOR VERDE AL 2%, CON UN PH DE 12.
2c.	15 RECTAS y 5 CONFORMADAS	25	BALIN DE ACERO INOX. (MISMO QUE EN 1a).	TIPO Te-1815, COLOR ROJO AL 3%, CON UN PH DE 12.
2d.	15 RECTAS y 5 CONFORMADAS	20	CILINDRO DE PORCELANA DE 6 mm DE DIAM. POR 200 mm. DE LONGITUD.	TIPO Te-1815, COLOR ROJO AL 3%, CON UN PH DE 12.

4.8 PRUEBAS DE PULIDO MECANICO.

**Observaciones a la tabla anterior:**

**Prueba No. 1a.:** las probetas rectas fueron dobladas por el balin.

Prueba No. 2a.: las probetas presentaron mejor acabado superficial por el desbastado, las conformadas se quedaron con residuos de la capa del tratamiento térmico, por lo que se sugirió permanecieran más tiempo en el pulido.

Prueba No. 2b.: las probetas presentaron mejor acabado superficial por el desbastado, las conformadas se quedaron con residuos de la capa del tratamiento térmico menor que en el proceso anterior.

Prueba No. 2c.: las probetas presentaron mejor acabado superficial por el desbastado, las conformadas se quedaron con residuos de la capa del tratamiento térmico menor que el proceso anterior, pero el golpeteo es muy fuerte por lo que la porcelana alcanza a doblar a las probetas rectas, y las orillas apenas y es notorio el rasgo de capa de carbono.

Prueba No. 2d.: las probetas presentaron mejor acabado superficial por el desbastado, las conformadas ya no presentan residuos de la capa del tratamiento térmico durante el proceso, pero la limpieza y el acabado superficial es muy fuerte parecido a las ya comerciales, por lo que la porcelana con forma cilíndrica es el mejor medio abrasivo y de pulido además del compuesto de baño (solución), pero no se alcanza la reflexión superficial impuesta por la norma, la cual es un acabado espejo.

Por lo anterior encontramos, que el pulido mecánico no afecta a la geometría de la aguja y permite la limpieza, e incluso un pulido razonable, de la capa de óxido que se forma con el tratamiento térmico, pues el desbaste es de 2 a 3 micras ( valor promedio ), de acuerdo a mediciones hechas en un comparador óptimo marca Epro LP-10, Ehrenreich N.Y. Como no se alcanzaba la reflexión se procedió a utilizar un electropulido ya que ninguno de los procesos en estudio fue capaz de dar dicho acabado con un acabado brillante o espejo, por lo que se hicieron las pruebas pertinentes de pulido electrolítico para establecer la posibilidad de obtener el parámetro deseado, y que a continuación se describen. Para electropulir al acero inox. martensítico 420, se han divulgado varios electrolitos dependiendo de las condiciones del acero a pulir, de las condiciones de operación a las que haya que trabajar y del acabado superficial que se desee. Se entiende que mediante la adición del cromo y bajo las condiciones exteriores adecuadas, se produce una modificación en la estructura de los electrones, convirtiendo al acero del estado activo, es decir soluble, al pasivo, es decir insoluble, entendiéndose la propiedad como formador de óxido por corrosión. El electropulido entonces, es, un proceso químico de alisado en la superficie de un metal en forma anódica que se lleva a cabo en un depósito con soluciones concentradas, sean ácidas ó alcalinas.

Una película anódica (capa anódica de micras de espesor, o capa de óxido) es creada cuando el metal empieza a ser electropulido al ser creada una superficie tersa y brillo característico. El tipo y característica de esta superficie, en condiciones de operación, determina si el acabado superficial y el brillo ocurren simultáneamente, o si ocurren independientemente uno del otro, es decir, si existe el brillo sin necesidad de implementar el acabado y, alternativamente, este puede existir sin brillo. Los factores que se consideraron como las variables importantes del proceso son: la solución de inmersión (electrolito), temperatura del medio acuoso y el tiempo de inmersión, además del voltaje y la corriente a la que se trabaja en la operación del pulido. Se puede decir que el electropulido toma lugar únicamente cuando la densidad de corriente es suficientemente alta sin que se llegue a corroer el material (significa la presencia de coloraciones o quemadas en el material).

Es así como se utiliza una electropulidora marca Buehler, modelo Electromet4 70-1831L-115, con cátodo de acero inox. tipo 303, con control de voltaje (la corriente es dada por el propio aparato dependiendo de la diferencia de potencial -voltaje- con la pieza a pulir, por lo que se controla con el mismo sensor), el bombeo del electrolito y su temperatura.

El grado de pulido alcanzado para una muestra de acero inoxidable, es función de la densidad de corriente, de la diferencia de potencial entre los electrodos, de la composición y temperatura del electrolito, del arreglo de la celda y de la duración del proceso. Por lo que se siguió el siguiente proceso:

Lavar, desengrasar y volver a lavar, secar las probetas elegidas, con los tiempos y medios establecidos en el equipo de ultrasonido. Colocarlas sobre el soporte con el diafragma adecuado. Cargar en la celda el electrólito elegido. Fijar en el aparato las condiciones de trabajo, de densidad de corriente y tiempo. Poner en marcha el aparato. Cumplido el ciclo de operación extraer la probeta rápidamente, lavarla en abundante agua, enjuagar en alcohol y secarla. Registrar en todos los casos el campo observado.

El criterio que se siguió fué el de que si el resultado no fuese el deseado, se debiera repetir el proceso ó ensayo con el mismo electrólito, variando ligeramente las condiciones de corriente y tiempo; y si no resultará con el electrólito efectuar el proceso con otro que se describa en uso y literatura, hasta que las condiciones sean las deseadas. A continuación se establecen las tablas de resultados y experimentación (todas las mediciones son promedio) con los parámetros antes citados.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA  
CAPITULO IV

PRUEBA No.	TIEMPO PULIDO (ATAQUE, segs)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (Amp)	% DE VEL. DE LA BOMBA	TIPO DE ATAQUE	OBSERVACIONES
1	30	30	3.9	40	A	ATAQUE AL MATERIAL SIN BRILLO.
2	30	70	2.3	40	A	IDEM
3	90	15	0.8	40	A	IDEM
4	180	90	0.7	40	A	IDEM
5	180	10	0.6	40	A	ATAQUE SEVERO SIN BRILLO.
6	180	9	0.6	40	A	IDEM
7	180	8	0.3	40	A	IDEM
8	180	6	0.3	40	A	IDEM
9	180	4	0.2	40	A	IDEM
10	240	50	3.3	40	A	IDEM
11	240	10	3.4	40	A	IDEM
12	240	9	0.3	40	A	ATAQUE CON PICADURAS
13	240	8	0.3	40	A	IDEM
14	240	6	0.3	40	A	IDEM
15	240	4	0.3	40	A	IDEM
16	180	4	0.2	40	B	IDEM
17	180	3	0.2	40	B	ATAQUE SEVERO CON PICADURAS.
18	180	3	1	40	B	IDEM
19	180	30	9	40	B	IDEM
20	180	20	4.8	40	B	IDEM
21	180	4	0.1	40	C1	IDEM
22	180	4	0.1	40	C2	IDEM
23	180	4	0.2	40	C3	IDEM
24	180	4	0.1	40	C4	IDEM
25	180	3	0.1	40	C5	IDEM
26	5	10	0.1	70	C	ATAQUE SIN BRILLO (PICAOURA)
27	10	6	0.1	70	C	IDEM
28	15	6	0.1	70	C	EMPIEZA BRILLO SIN REFLEXION
29	20	6	0.1	70	C	EMPIEZA BRILLO SIN REFLEXION
30	30	7	0.1	70	C	IDEM
31	45	10	0.1	70	C	IDEM
32	0	0	0	8	0	PROBETAS SIN PULIR.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA  
CAPITULO IV

33	60	11	0.2	70	C	RUGOSIDAD OPTIMA, OPACIDAD
34	90	16	0.4	70	C	IDEM
35	120	19	0.4	70	C	PICADURAS
36	45	6	0.1	70	C	MISMO PROCESO QUE EN 28
37	45	6	0.1	70	C	IDEM
38	45	6	0.1	70	C	MISMO PROCESO QUE EN 29
39	45	6	0.1	70	C	IDEM
40	45	11	0.2	70	C	MISMO PROCESO QUE EN 33
41	45	11	0.2	70	C	IDEM
42	45	10	0.1	70	C	MISMO PROCESO QUE EN 31
43	45	10	0.1	70	C	IDEM
44	45	10	0.1	80	D	BRILLO Y ALISADO NOTORIO
45	180	16	1.5	80	D	BRILLO SIN ALTA REFLEXION
46	240	21	2.5	80	D	IDEM
47	240	31	5	80	D	IDEM
48	120	38	9.1	100	D	IDEM
49	80	15	3.0	80	D	IDEM
50	75	13	1.3	80	D	IDEM
51	60	11	1.0	80	D	PICADURAS
52	45	10	0.9	80	D	RUGOSIDAD OPTIMA, OPACIDAD
53	35	10	0.8	80	D	IDEM
54	25	10	0.6	80	D	PICADURAS
55	15	10	0.5	80	D	RUGOSIDAD OPTIMA, BRILLO
56	45	8	0.4	80	D	IDEM
57	25	8	0.5	80	D	IDEM
58	45	6	0.3	80	D	SIN CAMBIO
59	15	6	0.3	80	D	IDEM
60	45	4	0.1	80	D	ALISADO Y BRILLO
61	25	4	0.1	80	D	IDEM
62	10	4	0.1	80	D	PICADURAS SIN BRILLO
63	30	15	7.4	70	E	IDEM
64	25	10	4.0	70	E	IDEM
65	20	8	2.3	70	E	IDEM
66	12	5	1.2	70	E	IDEM
67	8	4	0.2	70	E	IDEM

68	6	2	0.1	70	E	IDEM
69	60	22	10	60	F	IDEM
70	30	22	9.9	60	F	IDEM
71	30	15	6.0	60	F	SIN BRILLO, QUEMADURAS
72	30	10	2.7	60	F	IDEM
73	30	8	1.7	60	F	IDEM
74	30	5	0.7	60	F	IDEM
75	30	4	0.2	60	F	IDEM
76	30	24	3.9	60	C	IDEM
77	30	30	5.5	60	C	IDEM
78	30	40	7.6	60	C	IDEM
79	30	50	10	80	C	IDEM
80	30	10	2.9	80	C	IDEM
81	30	13	1.9	80	C	IDEM
82	30	10	1.4	80	C	IDEM
83	30	5	0.3	80	C	IDEM
84	30	4	0.1	80	C	BRILLO CON OPACIDAD
85	45	5	0.3	80	C	IDEM

4.9 FUNDAS DE ELECTROPULIDO.

La información que en seguida se cita, queda como adecuada para el pulido electrolítico pues no se necesita tener mayores rangos de medición en las variables importantes del proceso; a continuación se presentan los rangos más cerrados y los tipo de electrolitos utilizados que arrojan los datos aceptables para el avance del electropulido en investigación y quedan como el resultado esperado, que es un acabado espejo en las agujas.



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA  
CAPITULO IV

No. PRUEBA.	TIEMPO DE PULIDO (seg.)	VOLTAJE (V).	CORRIENTE (Amp.)	ELECTROLITO	TEMPERATURA (°C).	OBSERVACIONES.
23	15	6	0.1	G	30	ACABADO SUPERFICIAL BUENO, BRILLO CON OPACIDAD.
50	20	6	0.1	G	30	IDEM
34	60	11	0.2	G	20	ATAQUE SUPERFICIAL.
35	90	18	0.4	G	20	IDEM
36	120	16	0.4	G	22	IDEM
45	45	10	0.1	G	20	ACABDO SUPERFICIAL, BRILLO CON POCA REFLEXION.
53	45	10	0.9	G	20	IDEM
55	25	10	0.8	G	21	IDEM
58	25	8	0.5	G	21	IDEM
62	25	4	0.1	G	21	RUGOSIDAD ACEPTABLE, SIN BRILLO.
86	45	5	0.3	D	27	IDEM
87	15	11	2.4	H	23	BRILLO EXTREMO
88	60	15	2.2	H	23	BRILLO EXTREMO, OPTIMO
89	75	27	3.5	H	23	SIN BRILLO, SOBREATAQUE.

TABLA 4. 10 RESULTADOS DEL ELECTROPULIDO, PARAMETROS Y OBSERVACIONES

ELECTROLITO (CLAVE).	COMPONENTES Y PORCENTAJES DEL ELECTROLITO POR CADA 100 ml DE SOLUCION, PARA EL ELECTROPULIDO DE LAS AGUJAS.
A	ACIDO SULFURICO 50% + AGUA 50%
B	ACIDO FOSFORICO 20% + AGUA 80%
C (1,2,3,4,5)	ACIDO FOSFORICO (40,60,80,90,100%) + AGUA (60,40,20,10%, EN EL MISMO ORDEN QUE ANTERIOR)
D	ACIDO SULFURICO 40% + GLICERINA 60% + AGUA 10%
E	ACIDO CITRICO 50% + ACIDO SULFURICO 30% + AGUA 30%
F	ACIDO FOSFORICO 45% + ACIDO SULFURICO 15% + AGUA 14% + ACIDO CROMICO 6%
G	ACIDO SULFURICO 50% + GLICERINA 40% + AGUA 10%
H	ACIDO SULFURICO 39% + ACIDO FOSFORICO 45% + ACIDO CROMICO 10% + AGUA 5%

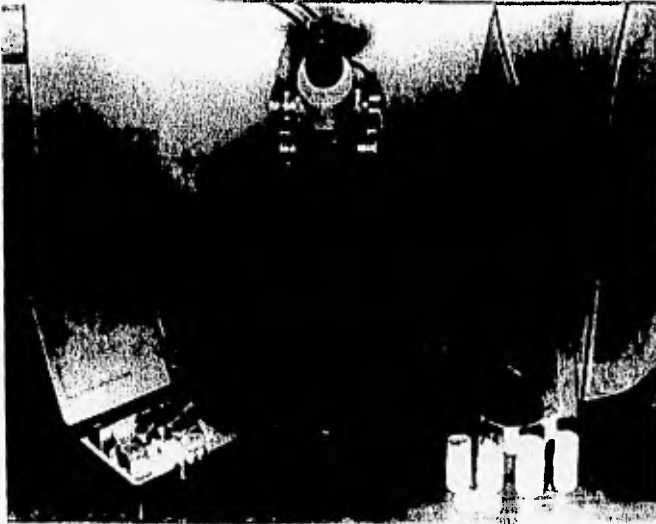
TABLA 4. 11 LAS DIFERENTES SOLUCIONES PARA LOS ELECTROLITOS.

Los acabados brillantes son obtenidos en las últimas pruebas (86,87, 88, 89) por el tipo de electrolito y por el tiempo y temperatura utilizados (sin olvidar el voltaje). En los acabados brillosos las altas temperaturas y las densidades de corriente decrecen con el tiempo necesariamente, ya que la propia orientación de las piezas, la distancia entre ánodo y cátodo, la densidad de corriente, la temperatura, la agitación y composición del electrolito, o su combinación son formas que deben permanecer constantes en todo el tiempo de trabajo. A continuación se mencionan los parámetros considerados como óptimos para la obtención de la rugosidad y brillo en las agujas a través del electropulido:

- TEMPERATURA DEL ELECTROLITO H 20-40°C
- AGITACION CON AIRE A PRESION (BOMBEO) 10-15 LBS.
- DENSIDAD DE CORRIENTE 2.0-3.5 AMPERES POR CADA 10 MUESTRAS.
- SOLUCION ACIDO CROMICO DILUIDO EN AGUA.
- CONCENTRACION DE SOLUCION %
- DISTRIBUCION DE ANODO Y CATODO (ANODOS= 6 A 10 PROBETAS -AGUJAS CONFORMADAS Y TRATADAS TERMICAMENTE-, CATODO SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS AGUJAS).
- LIMPIEZA DE LAS PIEZAS.
- NUMERO DE CICLOS 4.

#### SECUENCIA DE OPERACION.

- LIMPIEZA: ULTRASONIDO Y PULIDO MECANICO.
- ELECTROPULIDO.
- INMERSION EN AGUA (ENJUAGUE Y LAVADO), SECADO.



CAPITULO V

*CONCLUSIONES.*

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES.

1.- En base a las normas del IMSS para agujas de sutura y a las características y propiedades observadas en las agujas, se determina que la dureza promedio que presentan es de 54.4 HRC dureza adquirida después del tratamiento térmico, aplicado con los hornos establecidos.

2.- El valor que se debe tomar para la temperatura de austenitización es importante para el caso del acero inoxidable 420 martensítico, porque la austenita se vuelve más estable a causa de un mayor contenido de carbono, ya que durante el enfriamiento, el punto martensítico desciende hasta 225° C, de acuerdo al diagrama de temperatura, tiempo, transformación, así que el aumento de contenido de carbono traslada las transformaciones rápidas de la austenita hacia temperaturas inferiores, sin provocar la aparición de transformaciones intermedias, y de esta forma la acción del carbono corresponde a una mayor templabilidad, importante característica en nuestro material. Estos aceros se templean simplemente al aire, llamándose aceros autotemplables. De esta manera, la dureza aumenta en función de la temperatura de austenitización a 1100° C, pues sabemos que a partir de 1000° C la cantidad de austenita residual es suficiente para que un enfriamiento brusco provoque un aumento de dureza; así pues, la estructura del metal templado es martensita.

El temple de este acero se hace normalmente a 1000° C en aceite o al aire, pero esta temperatura es la más baja que se puede aplicar, si se quiere obtener una dureza suficiente del metal de temple o simplemente disminuir sus tensiones, se debe utilizar la temperatura de temple de 1100 ° C, así que se hicieron pruebas en un rango de 950° a 1150° C, cada 50° C, usándose los resultados de dureza y resistencia a la tensión de cada una de las pruebas, como medio de comparación, para obtener la temperatura óptima para el material, la cual se concretó a 1050° C.

3.- Para piezas muy pequeñas, como nuestro caso: agujas para sutura, se recomienda que el tratamiento térmico se lleve a cabo en atmósfera controlada, debido a que reduce la oxidación y escamación en las piezas. Utilizando una atmósfera inerte de Argón, se evitaron los problemas antes mencionados y cualquier tipo de fractura, que se presentó especialmente en el alambre al utilizarse una atmósfera convencional

4.- El tiempo de permanencia dentro de la cámara del horno para la temperatura de Austenitización fue obtenido experimentalmente partiendo de intervalos de tiempo entre 1-8 min., y midiendo propiedades mecánicas de dureza y tracción después del tratamiento térmico, en cada una de las muestras con sus variables consideradas, para compararse con la norma y obtener el valor óptimo y deseado. Por lo que los mejores tiempos que presentaron las propiedades que se tienen en la norma fluctuaron entre 1 y 3 min.; dejándose el tiempo de 2 min. como óptimo, pues las características de las pruebas fueron cerradas sin llegar a los límites. Debe considerarse que el volumen de prueba fue muy pequeño (diez agujas conformadas).

5.- Se observó que, cuando el temple se hizo en aire, algunas veces se encontraron pruebas donde la resistencia a la corrosión y la ductilidad disminuyeron, y además también se obtenía una cascarilla de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$ . de espesor, por lo que se utilizó como una mejor alternativa el medio de temple en aceite logrando una homogeneización de la cascarilla presentada después del tratamiento térmico, aún cuando se sabía que el medio de endurecimiento en aceite es más agresivo, sin que las propiedades estructurales o de microconstituyentes fueran cambiadas radicalmente.

6.- El tratamiento térmico de reelevador de esfuerzos se realizó después del endurecimiento por temple para reducir los esfuerzos generados por el enfriamiento rápido sin afectar a los microconstituyentes, la elección de la temperatura y del tiempo fueron determinadas como óptimas a 200° C y 30 min. de permanencia en un horno convencional, obteniendo la dureza y resistencia en la mejor combinación.

**7.- A continuación se señalan las características de operación óptimas:**

- a) Temperatura de austenitización a 1050°C
- b) Tiempo de austenitización 2 min.
- c) Atmósfera protectora de argón (gas Inerte).

- I.-Gasto del gas 20 lts./min.
- II.-Presión 125 Kg./cm<sup>2</sup>.

- d) Temple en aceite.
- e) Temperatura de revenido 200°C
- f) Tiempo de revenido 30 min.
- g) Enfriamiento al aire, a presión y temperatura atmosférica dentro de la cámara del horno utilizado en el revenido.

4.- El tiempo de permanencia dentro de la cámara del horno para la temperatura de Austenitización fue obtenido experimentalmente partiendo de intervalos de tiempo entre 1-8 min., y midiendo propiedades mecánicas de dureza y tracción después del tratamiento térmico, en cada una de las muestras con sus variables consideradas, para compararse con la norma y obtener el valor óptimo y deseado. Por lo que los mejores tiempos que presentaron las propiedades que se tienen en la norma fluctuaron entre 1 y 3 min.; dejándose el tiempo de 2 min. como óptimo, pues las características de las pruebas fueron cerradas sin llegar a los límites. Debe considerarse que el volumen de prueba fue muy pequeño (diez agujas conformadas).

5.- Se observó que, cuando el temple se hizo en aire, algunas veces se encontraron pruebas donde la resistencia a la corrosión y la ductilidad disminuyeron, y además también se obtenía una cascarilla de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$ . de espesor, por lo que se utilizó como una mejor alternativa el medio de temple en aceite logrando una homogeneización de la cascarilla presentada después del tratamiento térmico, aún cuando se sabía que el medio de endurecimiento en aceite es más agresivo, sin que las propiedades estructurales o de microconstituyentes fueran cambiadas radicalmente.

6.- El tratamiento térmico de reelevador de esfuerzos se realizó después del endurecimiento por temple para reducir los esfuerzos generados por el enfriamiento rápido sin afectar a los microconstituyentes, la elección de la temperatura y del tiempo fueron determinadas como óptimas a 200° C y 30 min. de permanencia en un horno convencional, obteniendo la dureza y resistencia en la mejor combinación.

**7.- A continuación se señalan las características de operación óptimas:**

- a) Temperatura de austenitización a 1050°C
- b) Tiempo de austenitización 2 min.
- c) Atmósfera protectora de argón (gas inerte).

- I.-Gasto del gas 20 lts./min.
- II.-Presión 125 Kg./cm<sup>2</sup>.

- d) Temple en aceite.
- e) Temperatura de revenido 200°C
- f) Tiempo de revenido 30 min.
- g) Enfriamiento al aire, a presión y temperatura atmosférica dentro de la cámara del horno utilizado en el revenido.

El tratamiento nos arroja las siguientes propiedades del material:

- 1) Resistencia a la tensión promedio de 2042.67 MPa.
- 2) Resistencia a la fluencia promedio de 2031.67 MPa.
- 3) Dureza HRC promedio de 56.57.
- 4) Estructura martensítica con carburos finos precipitados.

Como la dureza depende muchísimo del tiempo de revenido; podemos añadir que su disminución continúa si el revenido dura más de 1 hora. Vemos que el carburo  $(CrFe)_3C$ , primero que se forma al comienzo del revenido, se enriquece de cromo y, a continuación, se transforma progresivamente en  $(CrFe)_7C_3$ , primero, y en  $(CrFe)_{23}C_6$  más tarde. De ahí, que la pésima resistencia observada en las primeras pruebas podría depender del empobrecimiento local en cromo de la matriz en las zonas que rodean los granos de carburo.

8.- Se debe realizar la limpieza de las piezas en equipo de ultrasonido debido a su tamaño y geometría (0 0.67 mm. y 25 mm. de largo). El lavado debe efectuarse con una solución de jabón concentrado, por ser de muy bajo costo, seguido de un secado con inmersión en acetona, antes del tratamiento térmico, pues la evaporación de la acetona contribuye a una limpieza extrema y no deja manchas de grasa en forma de coloraciones.

9.- Después del tratamiento térmico las piezas deben ser decapadas con equipo de limpieza por ultrasonido, ya que pueden presentar cascarilla de óxido y agentes conseguidos en el proceso de elaboración, la solución de inmersión es de ácido nítrico al 0.5 %, ácido sulfúrico al 10 % y agua al 89,5 %, por cada 100 ml. de solución. Cabe señalar que en el pulido mecánico se puede decapar la superficie directamente con una solución comercial llamada Te-1015, que es una solución concentrada de jabón y ácido nítrico. Debemos señalar que el barrenado no está contemplado en el proceso de decapado y limpieza mecánica.

10.- Las probetas con mejor acabado superficial y brillo fueron las que se trataron con el material abrasivo de porcelana tipo cilindro de 4 mm. de diámetro y 17.7 mm. de longitud, en un medio por inmersión en solución tipo Te-985 al 2%, con un PH de 12 y 55 min. de tiempo de pulido, dando un mejor acabo que el especificado en la norma, así como, su rugosidad y sin pérdida de filo; pero no se alcanza la reflexión máxima de un acabado espejo. Por otra parte, se debe tener una relación 3:1, en cuestión de volumen de material a pulir y material abrasivo, con 2 ml. de solución concentrada.

11.- El electropulido es el proceso químico de acabado superficial del acero inoxidable 420 martensítico en forma anódica, que es llevado a cabo en un depósito con soluciones concentradas ácidas y alcalinas, dicho proceso se investigó como una alternativa más, pues ninguno de los anteriores fue capaz de dar un acabado espejo.

Se encontró el brillo óptimo al variar las condiciones de corriente y tiempo descritos en uso y literatura, por lo que las condiciones de trabajo óptimas fueron: 45 segs. de pulido, 5 volts,  $0.3 \pm 0.2$  Amperes, 80% de velocidad de flujo, el tipo de electrolito es 39 % de ácido sulfúrico, 46 % de ácido fosfórico, 10 % de ácido crómico y 5 % de agua, por cada 100 ml. de solución; siendo el más aceptable pues arrojó los datos óptimos al obtener el acabado espejo y la rugosidad dentro de norma.

*A continuación se mencionan los pasos y parámetros a seguir para la obtención de la limpieza y el acabado superficial óptimo.*

- INMERSION EN AGUA (ENJUAGUE Y LAVADO), SECADO.
- TEMPERATURA DEL ELECTROLITO H 20-40°C
- AGITACION CON AIRE A PRESION (BOMBEO) 10-15 LBS.
- DENSIDAD DE CORRIENTE 2.0-3.5 AMPERES POR CADA 10 MUESTRAS.
- SOLUCION ACIDO CROMICO DILUIDO EN AGUA.
- DISTRIBUCION DE ANODO Y CATODO (ANODOS= 6 A 10 PROBETAS -AGUJAS CONFORMADAS Y TRATADAS TERMICAMENTE-, CATODO SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS AGUJAS).

- LIMPIEZA DE LAS PIEZAS.
- NUMERO DE CICLOS 4.

#### SECUENCIA DE OPERACION.

- LIMPIEZA: ULTRASONIDO Y PULIDO MECANICO.
- ELECTROPULIDO.

Con lo anterior podemos citar que existe el pulido superficial, con el rango estándar de las variables para la obtención del brillo y la rugosidad en las agujas bajo la norma del IMSS en el ambiente de trabajo.



11.- El electropulido es el proceso químico de acabado superficial del acero inoxidable 420 martensítico en forma anódica, que es llevado a cabo en un depósito con soluciones concentradas ácidas y alcalinas, dicho proceso se investigó como una alternativa más, pues ninguno de los anteriores fue capaz de dar un acabado espejo.

Se encontró el brillo óptimo al variar las condiciones de corriente y tiempo descritos en uso y literatura, por lo que las condiciones de trabajo óptimas fueron: 45 segs. de pulido, 5 volts,  $0.3 \pm 0.2$  Amperes, 80% de velocidad de flujo, el tipo de electrolito es 39 % de ácido sulfúrico, 46 % de ácido fosfórico, 10 % de ácido crómico y 5 % de agua, por cada 100 ml. de solución; siendo el más aceptable pues arrojó los datos óptimos al obtener el acabado espejo y la rugosidad dentro de norma.

*A continuación se mencionan los pasos y parámetros a seguir para la obtención de la limpieza y el acabado superficial óptimo.*

- INMERSION EN AGUA (ENJUAGUE Y LAVADO), SECADO.
- TEMPERATURA DEL ELECTROLITO H 20-40°C
- AGITACION CON AIRE A PRESION (BOMBEO) 10-15 LBS.
- DENSIDAD DE CORRIENTE 2.0-3.5 AMPERES POR CADA 10 MUESTRAS.
- SOLUCION ACIDO CROMICO DILUIDO EN AGUA.
- DISTRIBUCION DE ANODO Y CATODO (ANODOS= 6 A 10 PROBETAS -AGUJAS CONFORMADAS Y TRATADAS TERMICAMENTE-, CATODO SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS AGUJAS).

- LIMPIEZA DE LAS PIEZAS.
- NUMERO DE CICLOS 4.

#### SECUENCIA DE OPERACION.

- LIMPIEZA: ULTRASONIDO Y PULIDO MECANICO.
- ELECTROPULIDO.

Con lo anterior podemos citar que existe el pulido superficial, con el rango estándar de las variables para la obtención del brillo y la rugosidad en las agujas bajo la norma del IMSS en el ambiente de trabajo.

### RECOMENDACIONES.

a.- Se establece el acabado espejo en el proceso de pulido mecánico en las siguientes condiciones: 4 horas de proceso de inmersión, con material abrasivo cilíndrico de barro y polvo de esmeril (mismas dimensiones que en 9); permitiendo que el electropulido pueda ser suprimido en la búsqueda del brillo. Cabe señalar que éste trabajo no se realizó en la presente investigación.

b.- La forma de sujeción de las piezas a electropulir en las tinas de baño convencionales, debe ser estudiado pues no existe en el mercado un dispositivo que permita su acción de sujeción y además dejar electropulir las áreas completas de la pieza, y que no interfiera como un ánodo o cátodo más, pues provoca problemas en la secuencia del desbastado superficial.

APENDICE A.

No. de prueba 1

No.	MEDIO DE TEMPLE	TEMP. AUST.	TIEMP. AUST.	RESIST. TENSION	RESIST. FLUENCIA	DUREZA
		°C	min.	KN	MPa	HB
1	---	---	---	0.4231	770.6	90.75
2	---	---	---	0.4232	787.0	93.00
3	---	---	---	0.440	729.4	---
4	AIRE	1010	1	---	---	78.00
5	"	"	1	0.0352	10	77.25
6	"	"	1	0.0263	---	81.60
7	"	"	2	---	---	83.60
8	"	"	2	---	---	83.00
9	"	"	2	---	---	83.60
10	"	"	3	---	---	---
11	"	"	3	---	---	88.25
12	"	"	3	0.0690	91.8	---
13	"	"	4	0.2896	770.6	78.00
14	"	"	4	0.4000	839.2	79.00
15	"	"	4	0.2043	220.7	83.75
16	"	"	5	0.2936	293.5	73.60
17	"	"	5	0.0481	---	74.75
18	"	"	5	0.1285	---	74.00

No. de prueba 2 y 3

No.	MEDIO DE TEMPLE	TEMP. AUST.	TIEMP. AUST.	RESIST. TENSION	RESIST. FLUENCIA	DUREZA
		°C	min.	MPa	MPa	HRC
1A	ACEITE	1050	1	336.00	171.50	57.30
2A	"	"	1	1005.00	714.60	47.70
3A	"	"	1	1828.00	1071.00	57.30
4A	"	"	2	1212.00	875.30	47.70
5A	"	"	2	1881.00	239.00	53.20
6A	"	"	2	1508.00	874.50	51.80
7A	"	"	3	1275.00	864.40	58.70
8A	"	"	3	273.904	45.47	51.90
9A	"	"	3	584.70	417.00	61.75
10A	"	"	4	157.10	---	52.60
11A	"	"	4	41.40	---	58.30
12A	"	"	4	104.30	---	51.80
13A	"	"	5	72.82	---	58.70
14A	"	"	5	265.50	172.30	58.70
15A	"	"	5	423.70	---	55.70
16A	"	"	8	315.80	---	51.80
17A	"	"	8	88.10	---	56.70
18A	"	"	8	84.87	---	51.80
19A	"	"	1.5	742.80	356.00	48.40
20A	"	"	1.5	719.10	175.20	---
21A	"	"	1.5	---	---	54.00

No. de prueba 4 y 5

No.	MEDIO DE TEMPLE	TEMP. AUST.	TIEMP. AUST.	RESIST. TENSION	RESIST. FLUENCIA	DUREZA
		°C	min.	MPa	MPa	HRC
1-A	ACEITE	1050	1	1708.00	1697.00	57.30
2-A	"	"	1	1718.00	1709.00	47.70
3-A	"	"	1	737.00	649.5	57.30
4-A	"	"	2	1654.00	1654.00	47.70
5-A	"	"	2	1437.00	12850.00	53.20
6-A	"	"	2	1650.00	1625.00	51.80
7-A	"	"	3	512.90	512.90	58.70
8-A	"	"	3	1851.00	1846.00	51.90
9-A	"	"	3	1878.00	1876.00	51.75
10-A	"	"	1	1574.00	1567.00	52.50
11-A	"	"	1	1272.00	1272.00	58.30
12-A	"	"	1	1653.00	1651.00	51.80
13-A	"	"	2	1782.00	1775.00	58.70
14-A	"	"	2	1818.00	1815.00	58.70
15-A	"	"	2	892.40	892.40	55.70
16-A	"	"	3	1639.00	1636.00	51.80
17-A	"	"	3	1401.00	1394.00	56.70
18-A	"	"	3	1697.00	1692.00	51.80

No. de prueba 6 y 7

No.	MEDIO DE TEMPLE	TEMP. AUST.	TIEMP. AUST.	RESIST. TENSION	RESIST. FLUENCIA	DUREZA
		°C	min.	MPa	MPa	HRC
1-A	ACEITE	1050	1	1938.00	1934.00	48.40
2-A	"	"	1	1954.00	1944.00	49.10
3-A	"	"	1	1950.00	1946.00	49.80
1-B	"	"	2	1997.00	1985.00	54.70
2-B	"	"	2	2006.00	2001.00	52.30
3-B	"	"	2	2121.00	2109.00	53.60
1-C	"	"	3	2006.00	1995.00	57.10
2-C	"	"	3	2031.00	2020.00	55.30
3-C	"	"	3	2091.00	2080.00	57.30
1-A'	"	"	1	528.10	522.40	45.30
2-A'	"	"	1	2037.00	2027.00	44.50
3-A'	"	"	1	2032.00	2020.00	49.80
1-B'	"	"	2	2025.00	2016.00	53.60
2-B'	"	"	2	2051.00	2040.00	50.10
3-B'	"	"	2	2056.00	2048.00	57.80
1-C'	"	"	3	2022.00	2010.00	58.80
2-C'	"	"	3	2072.00	2022.00	56.30
3-C'	"	"	3	2048.00	2034.00	54.70

No. DE PRUEBA 8

TEMP. DE AUSTENTIZACION.	TIEMPO DE AUSTENTIZACION.	TEMP. DE REVENIDO.	TIEMPO DE REVENIDO.	DUREZA HRC (PROMEDIO)	NOMENCLATUR A DE PRUEBA.
1050 °C	2 min.	SIN.	SIN.	62.8	A
IDEM	1 min.	200 °C	30 min.	64.8	1.1
IDEM	1 min.	IDEM	60 min.	60.66	1.18
IDEM	2 min.	IDEM	120 min.	66.8	1.212
IDEM	1 min.	300 °C	IDEM	67.46	2.112
IDEM	2 min.	IDEM	IDEM	69.2	2.212
IDEM	1 min.	IDEM	60 min.	66.3	2.16
IDEM	2 min.	IDEM	30 min.	69.7	2.23
IDEM	3 min.	IDEM	60 min.	62.4	2.36
IDEM	2 min.	IDEM	120 min.	61.11	3.212
IDEM	IDEM	400 °C	60 min.	61.84	3.28
IDEM	3 min.	IDEM	60 min.	63.2	3.36

## APENDICE B.

En el estudio estadísticos de las muestras en cada una de las variables investigadas se utilizó un programa que asignó estadísticamente un error porcentual de acuerdo a la cantidad de dichas muestras. Este programa en BASIC divide una cantidad en varias partes, cada proporcional a un número determinado, lo que permite tener el error en la medida, sin efecto en toda la muestra y si el valor preciso de la misma. En primer lugar se pregunta el número de decimales que se quieren obtener hasta un máximo de 13 (si la computadora tiene esta precisión). Después se introduce el valor a considerar y el número de partes del lote. El programa imprime esta tabla que muestra cada uno de estos números, tanto por ciento de cada uno y cantidad correspondiente con error. Al finalizar, imprime los totales de estas tres columnas.

### PROGRAMA: A

```
10 PRINT " SECUENCIA DE ERROR POR COCIENTES"
20 DIM A(100)
30 PRINT" SUMINISTRE EL NUMERO DE DECIMALES"
40 PRINT "LUGARES DE REDONDEO QUE USTED DESEA:"
50 PRINT "CERO (0) PARA NUMEROS ENTEROS, 1 PARA DECIMOS, ETC."
60 PRINT "HASTA 13 SI SU COMPUTADORA LO PERMITE."
70 INPUT R1
80 PRINT "SUMINISTRE EL TOTAL A SER CALCULADO"
90 INPUT S2
100 PRINT "SUMINISTRE EL NUMERO DE PORCIONES"
110 INPUT N
119 REM ***SUMINISTRO DE LAS RAZONES DE LAS CANTIDADES UNA POR UNA***
120 FOR I=1 TO N
130 PRINT "SUMINISTRE LA CANTIDAD"; I
140 INPUT A(I)
150 S1=S1+A(I)
160 NEXT I
170 PRINT, "CANTIDAD", "PORCIENTO", "FACTOR CON LA ASIGNACIÓN DE ERROR"
180 PRINT
189 REM ***IMPRESION DE LA TABLA***
190 FOR I=1 TO N-1
200 P=INT(10000*A(I)/S1+0.5)/100
```



```
210 P1=P1+P
220 R=INT((S2*A(I)/S1)*10^(R1)*0.5)/10^(R1)
230 S3=S3+R
240 PRINT ,A(I),P,R
250 NEXT I
260 PRINT, A(N), 100-P1,S2-S3
270 PRINT
280 PRINT "TOTALES", S1,"100.00,S2
290 PRINT
300 PRINT "ULTIMO TERMINO AJUSTADO DONDE ES NECESARIO"
310 END
```

RUN

SECUENCIA DE ERROR POR COCIENTES

SUMINISTRE EL NUMERO DE DECIMALES

LUGARES DE REDONDEO QUE USTED DESEA:

CERO (0) PARA NUMEROS ENTEROS, 1 PARA DECIMOS, ETC.

HASTA 13 SI SU COMPUTADORA LO PERMITE.

?2

SUMINISTRE EL TOTAL A SER CALCULADO

?15.00000

SUMINISTRE EL NUMERO DE PORCIONES

4

SUMINISTRE LA CANTIDAD 1

?13

SUMINISTRE LA CANTIDAD 2

?SUMINISTRE LA CANTIDAD 3

?18

SUMINISTRE LA CANTIDAD 4

?11

EJEMPLO EJEMPLO DEL USO DEL PROGRAMA: MEDICIONES DE DUREZA.

CANTIDAD	PORCIENTO	FACTOR CON LA ASIGNACION DE ERROR.
13	20.97	31.45161
20	32.26	48.3871
18	29.03	43.5483.9
11	17.74001	26.6129
TOTALES	62	100.0
		15.00000

ULTIMO TERMINO AJUSTADO DONDE ES NECESARIO

CALCULO DE LA TEMPERATURA DEL ALAMBRE EN LOS LIMITES DEL HORNO.

UN ALAMBRE DE 0.67 mm. DE DIAMETRO ES MANTENIDO A UNA TEMPERATURA DE 1050° C, DENTRO DE UN HORNO CON ATMOSFERA CONTROLADA. LA SUPERFICIE Y TODO EL ALAMBRE ES EXPUESTO AL AIRE A 25° C; SUPONIENDO UNA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION, PUES EXISTE FLUJO DE AIRE LAS CONDICIONES DE TRANSFERENCIA SON MAS CRITICAS. CALCULAREMOS LA PERDIDA DE CALOR PARA ALAMBRE TIPO AISI 420 MARTENSITICO INOXIDABLE.

**CONDICIONES Y CONSIDERACIONES.**

-UN ALAMBRE PRECALENTADO ES EXPUESTO AL AIRE (SECCION CIRCULAR, POR LO QUE SE PUEDE CONSIDERAR QUE EL CAMBIO BRUSCO DE TEMPERATURA TIENE UN COEFICIENTE DE  $10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ).

-EL CALOR PERDIDO POR EL ACERO INOXIDABLE ES LA DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA DE AUSTENITIZACION PARA EL TRATAMIENTO TERMICO, Y LA TEMPERATURA REAL AL SER SACADO DEL HORNO Y TEMPLARLO.

**ASEVERACIONES:**

1. CONDICIONES DE ESTADO CONSTANTES.
2. CONDICION UNIDIMENSIONAL A LO LARGO DEL ALAMBRE.
3. PROPIEDADES CONSTANTES.
4. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR UNIFORME.
5. LARGO DEL ALAMBRE INFINITO ( $\infty$ ), PUES EL DIAMETRO ES MUY PEQUEÑO COMPARADO CON LOS 30 cm. QUE SE TIENE DE LARGO .
6. DESPRECIABLE PERDIDA DE CALOR O ENERGIA POR RADIACION CON EL MEDIO AMBIENTE, EN FUNCION DEL TIEMPO, PUES ES MINIMA, Y TIENE QUE VER CON LOS COEFICIENTES DEL AIRE Y ACEITE.

PROPIEDADES: DE LA TABLA A.1 (LIBRO FUNDAMENTAL OF HEAT AND MASS TRANSFER.- FRANK K. P. INCROPERA) STAINLESS STEEL, AISI 420 (335 K); (K=21.3 w/mK);  $T = (T_b + T_a)/2 = 815.7 \text{ }^\circ\text{K}$ .

$$^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.2 \Rightarrow T_b = (1050 + 273.2) = 1323.2 \text{ }^\circ\text{K}; T_a = (25 + 273.2) = 298.2 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T = (1323.2 + 298.2)/2 = 815.7 \text{ }^\circ\text{K}$$

DE LA ECUACION 3.8 PARA PERDIDA DE CALOR DEL INCROPERA:  $q_r = \sqrt{hPKAc_0b}$

SUSTITUYENDO:

$$q_r [10 \text{ w/m}^2\text{K} \cdot \pi + 0.000067 \text{ m} \cdot 21.3 \text{ w/mK} \cdot \pi/4 (0.000067)^2]^{(1/2)} (1050 - 25) \text{ }^\circ\text{C} = 0.4075 \text{ W}$$

COMPROBACION:

LA APROXIMACION SATISFACTORIA, VIENE DEL USO DE LA EXPRESION QUE DA COMO RESULTADOS  $mL \geq 0.99$  ó  $mL \geq 2.65$ , EN LA COMPARACION DE LAS SIGUIENTES ECUACIONES, AL ASUMIRSE QUE EL LARGO DEL ALAMBRE ES INFINITO CON RESPECTO AL DIAMETRO.

$$q_r = \sqrt{hPKAc_0b} \dots (\text{ec. 3.80}) \Rightarrow q_r \sqrt{hPKAc_0b} \tan(hmL) \dots (\text{ec. 3.75})$$

$$L \geq L_c = (2.65/m) = 2.65(KA/hp)^{(1/2)}$$

$$L_c = 2.65 \{ (21.3 \text{ w/mK} \cdot (\pi/4)(0.000067)^2) / (10 \text{ w/mK} + \pi(0.025 \text{ m})) \}^{(1/2)} = 28.3 \text{ cm DE LARGO} \approx 30 \text{ cm.}$$

COMENTARIOS:

EL RANGO DE RESULTADOS PARA EL ALAMBRE DE SECCIÓN PEQUEÑA DE TRANSFERENCIA DE CALOR, PUEDE SER PREDECIDO CON UNA APROXIMACION INFINITA SI  $mL \geq 2.65$ . AUNQUE, LA APROXIMACION INFINITA ES PARA PREDECIR LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS  $T(x)$ , A LO LARGO DEL ALAMBRE  $mL$  SI ES REQUERIDO. EL EFECTO TERMICO DE CONDUCTIVIDAD ESTA DADO EN  $q_r$  Y  $L_c$ , O SEA, A LO LARGO Y EN EL CENTRO DEL ALAMBRE.

#### CALCULO DE LA TEMPERATURA DEL ALAMBRE EN SU INTERIOR EN EL TEMPLE.

EN EL PROCESO DE MANUFACTURA DE LAS AGUJAS DE ACERO INOXIDABLE (AISI 420) INICIALMENTE ESTAN A TEMPERATURA  $1050^\circ \text{C}$  ( $1323.2 \text{ }^\circ\text{K}$ ), Y SON TEMPLADAS POR INMERSION EN ACEITE EN UN RECIPIENTE, MANTENIENDO SU TEMPERATURA A  $25^\circ \text{C}$  ( $298.2 \text{ }^\circ\text{K}$ ) CON UN COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE  $h=500 \text{ w/m}^2\text{K}$  (PARA EL CASO DEL ACEITE; VER TABLAS DE REFERENCIA DEL INCROPERA). EL CILINDRO O AGUJA TIENE UNA LONGITUD DE  $2L=20 \text{ mm}$ . Y UN DIAMETRO  $D=0.67 \text{ mm}$ . CONSIDERANDO UN TIEMPO DE 3 min. DENTRO DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO, DETERMINAREMOS LAS TEMPERATURAS AL CENTRO DEL CILINDRO, EN LA CARA SUPERFICIAL, Y EN EL CENTRO Y SUPERFICIE DEL CILINDRO.

CONSIDERACIONES:

a) LA TEMPERATURA INICIAL Y DIMENSIONES DE LA AGUJA DEPENDEN DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA Y CONVECCION DE CALOR EN EL RECIPIENTE DE ACEITE.

b) LAS TEMPERATURAS EN LOS PUNTOS DE MEDICION ESTAN DADAS POR LAS FUNCIONES SIGUIENTES:  $T(x,r,t)$ .

1.  $T(0,0,3 \text{ min.})$ , DESPUES DE 3min. EN EL CENTRO DEL CILINDRO.
2.  $T(0,L,3 \text{ min.})$ , EN EL CENTRO Y SUPERFICIE DE LA CARA CIRCULAR.
3.  $T(r_0,0,3 \text{ min.})$ , EN LA CARA LATERAL Y EN EL CENTRO DE LA LONGITUD DE LA AGUJA.

$${}^{\circ}\text{K}_1=1050+273.2=1323.2 \text{ }^{\circ}\text{K}, \text{ }^{\circ}\text{K}_2=25^{\circ} \text{ C} + 273.2=298.2 \text{ }^{\circ}\text{K}; \text{ } K_1=1621.4 \text{ }^{\circ}\text{K}.$$

ASEVERACIONES Y PROPIEDADES.

1. CONDICION BIDIMENSIONAL EN  $r$  Y  $x$ .
2. PROPIEDADES CONSTANTES.
3. DE LA TABLA A.1 DEL INCROPERA, PARA AISI 420  $T_{\text{f}}[(1050^{\circ} \text{ C}+25^{\circ}\text{C})/2=1621.4 \text{ }^{\circ}\text{K}]$ ,  $\delta=7900 \text{ Kg/m}^3$ ;  $C=526 \text{ J/KgK}$ ,  $K=17.4 \text{ w/mK}$ ;  $\alpha=(K/\delta c)=4.19 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ .

ANALISIS:

LA TEMPERATURA EN EL CILINDRO O AGUJA PUEDE SER EXPRESADA COMO EL SIGUIENTE PRODUCTO DE SOLUCIONES UNIDIMENSIONALES.

$$(T(r,x,t)-T_{\infty})/(T_i-T_{\infty})=P(x,t)C(r,t).$$

DONDE  $P(x,t)$  Y  $C(r,L)$  SON DEFINIDAS A CONTINUACION, PARA EL CENTRO DEL CILINDRO.

$$(T(0,0,3 \text{ min.})-T_{\infty})/(T_i-T_{\infty})=((T(0,3 \text{ min.})-T_{\infty})/(T_i-T_{\infty})) \Big|_{\text{PARED PLANA}} \cdot (T(0,0,3 \text{ min.})-T_{\infty})/(T_i-T_{\infty}) \Big|_{\text{CILINDRO INFINTO}}.$$

⇒ TENEMOS, PARA EL PLANO DE LA PARED:

$$Bi=(K/hL)=(17.4 \text{ w/mK})/(500 \text{ w/m}^2 \text{ K} \cdot 0.01 \text{ m})=3.48$$

$$Fo=(\alpha/L^2)=(4.19 \cdot 10^{-8} \cdot 180 \text{ s.})/(0.01 \text{ m})^2=7.542$$

$$(0_c/0_i)=((T(0,3 \text{ min.})-T_{\infty})/(T_i-T_{\infty})) \Big|_{\text{PARED PLANA}} \approx 0.64$$

( SE REGISTRAN LOS VALORES EN UNA GRAFICA Y SE SACA LA RELACION  $(0_c/0_i)$ ; GRAFICA FIG. 3.8 pp. 243).

EN FORMA SIMILAR PARA UN CILINDRO INFINITO:

$$Bi = (K/hL) = (17.4 \text{ w/m}^2\text{K}) / (500 \text{ w/m}^2\text{K} \cdot 0.00335 \text{ m}) = 10.388$$

$$Fo = (\alpha/L^2) = (4.19 \cdot 10^{-6} \cdot 180 \text{ s.}) / (0.00335 \text{ m})^2 = 67.205$$

$$(0_c/0_i) = ((T(0,3\text{min}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha)) \Big|_{\text{PARED PLANA}} \approx 0.55$$

SE TIENE PARA EL CENTRO DEL CILINDRO

$$(T(0,0,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) \approx 0.64 \cdot 0.55 \approx 0.35$$

$$(T(0,0,3 \text{ min.}) \approx 298.2 \text{ }^\circ\text{K} + 0.35 (1323.2 - 298.2) \approx 656.95 \text{ }^\circ\text{K}$$

LA TEMPERATURA AL CENTRO DE LA CARA CIRCULAR SE OBTIENE DE LA FORMA QUE SIGUE:

$$(T(0,L,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) = ((T(L,3\text{min}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha)) \Big|_{\text{PARED PLANA}} \cdot (T(0,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) \Big|_{\text{CILINDRO INFINITO}}; \text{ con } (x/l) = 1 \text{ Y } Bi^{-1} = 1.16, \text{ DE LA FIG. 5.11 pp. 248; } (0_c/0_i) = ((T(L,3\text{min}) - T_\alpha) / (T_\alpha(0,3\text{min}) - T_\alpha)) \Big|_{\text{PARED PLANA}} \approx 0.68.$$

ENTONCES:

$$(T(L,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) = ((T(L,3\text{min}) - T_\alpha) / (T(0,3 \text{ min.}) - T_\alpha)) \Big|_{\text{PARED PLANA}} \cdot (T(0,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) \Big|_{\text{MURO PLANO}}$$

$$(T(L,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) \approx 0.68 \cdot 0.64 \approx 0.44$$

DE AHI QUE :

$$(T(0,L,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) \approx 0.44 + 0.55 \approx 0.24$$

$$T(0,L,3 \text{ min.}) \approx 298.2 \text{ }^\circ\text{K} + 0.24(1323.2 - 298.2) \text{ }^\circ\text{K} \approx 544.2 \text{ }^\circ\text{K}$$

LA TEMPERATURA EN LA MITAD DE LA LONGITUD PUEDE SER OBTENIDA A PARTIR DE LOS DATOS ANTERIORES.

$$(T(r_0,0,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) = ((T(0,3\text{min}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha)) \Big|_{\text{PARED PLANA}} \cdot (T(r_0,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) \Big|_{\text{CILINDRO INFINITO}}$$

con  $(r/r_0) = 1$  Y  $Bi^{-1} = 0.87$ , DE LA FIG. 5.12 pp. 249

$$(0_c/0_i) = ((T(r_0,3\text{min}) - T_\alpha) / (T_\alpha(0,3\text{min}) - T_\alpha)) \Big|_{\text{CILINDRO INFINITO}} \approx 0.61. \text{ ENTONCES.}$$

$$(T(r_0,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) = ((T(r_0,3\text{min}) - T_\alpha) / (T(0,3 \text{ min.}) - T_\alpha)) \Big|_{\text{CILINDRO INFINITO}} \cdot (T(0,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) \Big|_{\text{CILINDRO INFINITO}}$$

$$(T(r_0,3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_i - T_\alpha) \Big|_{\text{CILINDRO INFINITO}} \approx 0.61 \cdot 0.55 \approx 0.34$$

DE AHI QUE:

$$(T(r_0, 0.3 \text{ min.}) - T_\alpha) / (T_1 - T_\alpha) \approx 0.64 \cdot 0.34 \approx 0.22 \Rightarrow T(r_0, 0.3 \text{ min.}) \approx 298.2 \text{ °K} + 0.22(1323.2 - 298.2) \text{ °K} \approx 523.7 \text{ °K.}$$

CALCULO DE LA DILATACION TERMICA DEL ACERO INOXIDABLE 420 MARTENSITICO.

El cuerpo sólido (alambre conformado en aguja) cambia sus dimensiones al variar su temperatura. Utilizando el coeficiente  $\alpha$  de dilatación longitudinal (o lineal), que es dependiente de la temperatura, se tiene que:

$$\alpha = ((T_2 - T_1)(L_2 - L_1)) / (L_0(T_2 - T_1)) = dL / (d(T L_0)) = 1.6 \cdot 10^{-6}$$

Longitud:  $l_2 = l_1(1 + \alpha(t_2 - t_1))$ ;  $\Delta l = l_2 - l_1 = l_1 \alpha(t_2 - t_1) = (3.75 \cdot 10^{-6})(1050 - 20) = 0.0041 \text{ mm.}$

Area:  $A_2 = A_1(1 + 2\alpha(t_2 - t_1))$ ;  $\Delta A = A_2 - A_1 = A_1 2\alpha(t_2 - t_1) = (5.025 \cdot 10^{-5})(1050 - 20) \text{ mm}^2$ .

Volumen:  $V_2 = V_1(1 + 3\alpha(t_2 - t_1))$ ;  $\Delta V = V_2 - V_1 = V_1 3\alpha(t_2 - t_1) = (8.814)(4.5 \cdot 10^{-6})(1050 - 20) = 0.041 \text{ mm}^3$ .

APENDICE C.

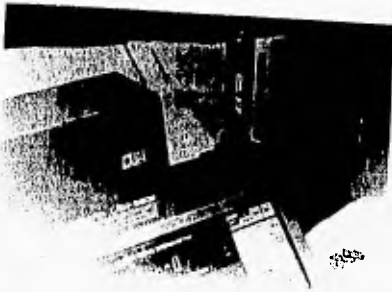


Fig. C-1. Micrómetro láser LSM 9602.



Fig. C-2. Rugosímetro Mitutoyo Surftest 402.



Fig. C-3. Microdurómetro Leitz Wetzlar.



Fig. C-4. Microscópio electrónico Phillips XL20.

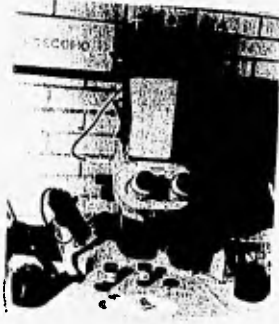


Fig C-5. Photomakroskop M400.



Fig. C-6. Pulidora electroquímica.

## BIBLIOGRAFIA.

(1) BRICK, R. M., STRUCTURE AND PROPERTIES OF ALLOYS, 3a ED., Mc GRAW HILL BOOK COMPANY, 1985.

(2) DIETER, G. E., MECHANICAL METALLURGY, Mc GRAW HILL BOOK COMPANY, 1961.

(3) GROSSMAN, M. A. , PRINCIPLES OF HEAT TREATMENT, 5a ED., AMERICAN SOCIETY OF METALS, 1984.

(4) GUY, ALBERT, ELEMENTS OF PHYSICAL METALLURGY, 3a ED., ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, 1974.

(5) MCGANIN, H. E. , THE MAKING, SHAPPING, AND TREATING OF STEEL, 9a. ED., UNITED STATES STEEL CORPORATION, 1989.

(6) METALS HANDBOOK, 5a ED., VOLS. 1,4,5,7,8; AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1990.

(7) RUOFF, ARTHUR L., MATERIALS SCIENCE, PRENTICE HALL, 1983.

(8) POLLACK, HERMAN W., MATERIAL SCIENCE AN METALURGY, RESTON PUBLISHING COMPANY, 1983.

(9) SARKAR. A. D., DESGASTE DE METALES; LIMUSA, 1990.

(10) BARRERO, APRAIZ JOSE; ACEROS ESPECIALES, 5a ED., 1975; EDITORIAL DOSSAL-MADRID.

(11) AMERICAN TRON AND STEEL INSTITUTE; STAINLES AND HEAT-RESISTING STEELS, STEELS PRODUCTS MANUAL, NUEVA YORK, 1963.

(12) MONYPENNY, J. H. G.; STAINLESS TRON AND STEEL, 2 VOLS., 3a. ED., CHAPMAN AND HALL, LONDRES, 1951-1954.

(13) AVNER, H. SYDNEY; INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA, 2a ED., Mc GRAW HILL, 1992.

(14) THUM, E. E., BOOK OF STAINLESS STEELS, 2a ED., AMERICAN SOCIETY FOR METALS, METALS PARK, OHIO, 1935.

(15) VAN VLACK, L. H. , ELEMENTS OF MATERIALS SCIENCE, ADDISON WESLEY PUBLISHING COMPANY, INC.; READING, MASS, 1969.

(16) NORIEGA, ZEFERINO DAMIAN; TECNOLOGIA DE FABRICACION METALMECANICA; AGT EDITOR S.A., 1986.



- (17) ACERO-FASCICULO 1- ALFONZO ALFONZO; 1975, D.F., MEXICO.
- (18) APUNTES TOMADOS EN CLASE DE PROCESOS DE MANUFACTURA I, DELGADO JARAMILLO, ESIME 1973, D.F., MEXICO.
- (19) MAYNARD, H. B., MANUAL DE INGENIERIA DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL, TOMO I, REVERTE, 1982, BARCELONA ESPAÑA.
- (20) BAUMISTER, AVALLONE, MARKS MANUAL DEL INGENIERO MECANICO, Mc GRAW HILL, 2a ED., 1982, MEXICO.
- (21) VILLANUEVA, J. RAMOS; MANUAL DE METODOS DE FABRICACION METALMECANICA, AGT EDITOR S.A., 1982.
- (22) ASTM PARTES 1,2,3,4 y 8, ED. 1978.
- (23) ASME SECCION VIII; DIVISION 1, ED. 1977.
- (24) PETROLEUM REFINER; LA METALURGIA DE LOS ACEROS INOXIDABLES, JULIO, 1956.
- (25) HYDROCARBON PROCESSING, COMPRDBACION METALOGRAFICA DEL ACERO INOXIDABLE EN CAMPO, HYDROCARBON PROCESSING, ABRIL 1972.
- (26) FIGUEROA, RUANO CONSTANCIO; ACEROS Y ALEACIONES, PROPIEDADES, APLICACIONES Y SOLDABILIDAD; GRAFICA TURRILES, S.A. DE C.V.; 1984.
- (27) HOLLMAN, POLLACK; METODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS, 2a. ED., Mc GRAW HILL, 1986.
- (28) DUBOX, J. EDUARDO; PRACTICAS DE METALOGRAFIA, MARIMAR EDICIONES, 1974.
- (29) DIETER, G. ; MECHANICAL METALLURGY; Mc GRAW HILL, NUEVA YORK 1966.
- (30) JENKINS, I.; CONTROLLED ATMOSPHERES FOR THE HEAT TREATMENT OF METALS, CHAPMAN & HALL LTD.; LONDRES 1986.
- (31) SMET, G.; LA PRATIQUE DES TRATEMENTS TERMQUES DES METAUX INDUSTRIELS, DUNOD, PARIS, 1972.
- (32) GREAVES, A. ; WRIGHTON, H.; METALOGRAFIA MICROSCOPICA PRACTICA, URMO, BILBAO, 1960.