

6  
201



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**“LOS MATERIALES EN LA INGENIERIA  
QUIMICA”**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
P R E S E N T A N :  
**CERVANTES AGUILAR LAURA ESPERANZA**  
**CUELLAR QUINTERO CLAUDIA**

DIRECTOR DE TESIS: IQM. RAFAEL SAMPERE MORALES.

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1999.

274929

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.

6  
2EJ



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Los Materiales en la Ingeniería Química

que presenta la pasante: Laura Esperanza Cervantes Aguilar  
con número de cuenta: 8959018-4 para obtener el TITULO de:  
Ingeniera Química

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

A T E N T A M E N T E.  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 27 de Noviembre de 199 98

PRESIDENTE I.Q.M. Rafael Sampere Morales

VOCAL I.Q. Ariel Bautista Salgado

SECRETARIO I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez

PRIMER SUPLENTE I.Q. Graciela Delgadillo García

SEGUNDO SUPLENTE I.Q. Miriam Rivas Salgado



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



Departamento de  
Exámenes Profesionales

**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Los Materiales en la Ingeniería Química.

que presenta la pasante: Claudia Cuellar Quintero.

con número de cuenta: 8958750-6 para obtener el TÍTULO de:

Ingeniera Química

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 27 de Noviembre de 1998

PRESIDENTE

I.Q.M. Rafael Sempere Morales

VOCAL

I.Q. Ariel Bautista Salgado

SECRETARIO

I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez

PRIMER SUPLENTE

I.Q. Graciela Delgadillo García

SEGUNDO SUPLENTE

I.Q. Miriam Rivas Salgado

AGRADECIMIENTOS

---

ALA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN:

AGRADECEMOS EN GENERAL EL APOYO PRESTADO PARA NUESTRA FORMACIÓN PROFESIONAL A LO LARGO DE LA CARRERA. INFINITAS GRACIAS POR SIEMPRE.

A LOS SINODALES:

POR LAS INVALUABLES APORTACIONES REALIZADAS A ESTE TRABAJO.

CLAUDIA Y LAURA

AL ASESOR:

ING. RAFAEL SAMPERE MORALES.

AGRADESCO INFINITAMENTE SU DESINTERESADA Y LEAL DEDICACIÓN EN BRINDARME SUS CONOCIMIENTOS, EXPERIENCIAS Y APOYO ASI COMO SU PREOCUPACIÓN Y DISPONIBILIDAD PARA LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO. MI AGRADECIMIENTO ES EXTENSO HASTA MI FORMACIÓN PROFESIONAL Y PERSONAL. CON EL MAS GRANDE RESPETO QUE ME INSPIRA GRACIAS Y JAMAS LO OLVIDARE.

LAURA ESPERANZA

ING. RAFAEL SAMPERE MORALES:

GRACIAS MIL POR TODO EL APOYO, PACIENCIA, ORIENTACION QUE ME BRINDO PARA DAR ESTE PASO TAN IMPORTANTE EN MI VIDA PROFESIONAL.

GRACIAS TAMBIEN POR LOS CONSEJOS QUE EN SU MOMENTO FUERON UN IMPULSO PARA SEGUIR, NO SOLO PARA LA CONCLUSION DE ESTE TRABAJO, SINO PARA LA CONTINUIDAD DE MIS PROYECTOS FUTUROS

CLAUDIA C.

## DEDICATORIAS

---

### A DIOS:

POR PERMITIRME LLEGAR A ESTE MOMENTO DE MI VIDA Y POR ESTAR SIEMPRE CON MIGO.

### A MI PADRE:

SR. JUAN LUIS CERVANTES URBAN.

NO ENCUENTRO PALABRAS PARA EXPRESARTE MI CARIÑO, RESPETO, MI INFINITO AMOR Y SOBRE TODO MI AGRADECIMIENTO POR EL HABER HECHO DE MI UNA MUJER PREPARADA Y FUERTE. AGRADESCO LA OPORTUNIDAD Y APOYO INCONDICIONAL QUE ME BRINDASTE. CON TIGO A MI LADO SOY LO QUE SOY Y SIEMPRE SERE TU HIJA PEQUEÑA.

TU ERES EL EJEMPLO DE HONRADEZ Y TENACIDAD, POR TODO ESTO Y MUCHO MÁS TE DEDICO ESPECIALMENTE A TÍ ESTA TESIS.

TE QUIERO MUCHO PAPÁ

### A MI MADRE:

SRA. ELIZA AGUILAR VAZQUEZ.

TU ERES MI APOYO INCONDICIONAL, Y LA FUERZA PARA IMPULSARME A SEGUIR SIEMPRE FIRME A MIS DECISIONES. TE AGRADESCO TODAS LAS COSAS BELLAS QUE ME HAS ENSEÑADO Y SOBRE TODO POR ESTAR SIEMPRE A MI LADO CON TU INFINITO AMOR. ESTA TESIS TAMBIEN ES TUYA.

TE QUIERO MUCHO MAMÁ

### A MI HERMANA:

DRA. DOLORES ELISA CERVANTES AGUILAR.

TRAZASTE EN TU VIDA UN CAMINO LLENO DE SUPERACIÓN, TENACIDAD Y ESFUERZOS EL CUAL ME ENSEÑASTE A RECORRERLO Y AL MISMO TIEMPO ME MOSTRASTE NUEVOS CAMINOS EN LA VIDA INFUNDIÉNDOME EL DESEO DE SUPERACIÓN CONSTANTE. SIMPLEMENTE TU ERAS EL EJEMPLO A SEGUIR. POR TODO MUCHAS GRACIAS Y RECUERDA QUE TE QUIERO NENA.

DEDICATORIAS

---

HAY TRES PERSONAS MUY IMPORTANTES EN MI VIDA QUE SIN ELLOS  
TALVEZ NO TUVIERA LO QUE TENGO, ELLOS SON MIS ABUELOS:

JULIAN URBAN SOLANO †  
NUNCA TE OLVIDARE VIVIRAS POR SIEMPRE

PATROCINIO JOSE DE LA CRUZ URBAN SOLANO †  
NO TIENE MUCHO QUE TE HAS IDO FISICAMENTE, PERO SIN  
EMBARGO SIEMPRE VIVIRAS EN MI COMO EL ABUELO, YA QUE HASTA  
EL ULTIMO MOMENTO DEMOSTRASTE FUERZA Y ENTEREZA HACIA LA  
VIDA.

GRACIAS POR TU GRAN CARIÑO Y POR LUCHAR SIEMPRE POR LA  
FAMILIA.

DOLORES URBAN SOLANO  
DE LOS TRES SOLAMENTE TE TENGO A TI Y NO SABES CUANTO LO  
AGRADESCO.  
NO OLVIDES ABUELA QUE TE QUIERO.

A MI AMIGA:

CLAUDIA CUELLAR QUINTERO

ERES UNA GRAN AMIGA EN LA CUAL HE ENCONTRADO CONFIANZA,  
APOYO, COMPRENSIÓN Y MUCHAS COSAS.MÁS.  
JUNTAS REALIZAMOS ESTRE TRABAJO TE AGRADESCO POR ESTAR  
CON MIGO Y TE DESEO LO MEJOR DE LA VIDA.  
LA AMISTAD NO SE COMPRA NI SE VENDE SIMPLEMENTE SE REGALA  
GRACIAS POR TODO AMIGA MIA.

A VICENTE PRADO RODRIGUEZ:

EL AMOR REAL NUNCA PODRA SER UN PREMIO, EL AMOR ES UN  
REGALO Y YO TE REGALO MI AMOR Y ESTE TRABAJO.  
RECUERDA QUE UNA FAMILIA FUERTE SE CONSTRUYE CON  
SACRIFICIO Y TRABAJO, CON AMOR, CONFIANZA Y SOBRE TODO CON  
RESPECTO POR TODO ESTO TE ASEGURO QUE LO LOGRAREMOS YA  
QUE TU ERES MI FUTURO.  
GRACIAS POR QUERERME E IMPULSARME. TE AMO.

A TODAS ESTAS PERSONAS ATENTAMENTE:  
LAURA ESPERANZA CERVANTES AGUILAR

**A DIOS:**

Tu que eres mi padre lleno de amor, que me concedes más de lo que merezco y deseo. Dedico con todo respeto y agradecimiento haber alcanzado esta meta.

**A MI MADRE:**

Este logro esta inspirado en una vida de sacrificios, de esfuerzos constantes, de un inmenso amor y cariño.

Por ti he llegado hasta donde me encuentro en este momento.

En muchas ocasiones estuve a punto de abandonarlo todo, pero tu estabas ahí, impulsándome a seguir, para que yo continuara adelante con mis sueños.

A ti van dedicados mis primeros comienzos y los últimos.

Mamá gracias por enseñarme a andar por esta vida.

Te quiero con todo mi corazón.

**A MI PADRE:**

Como homenaje a tu apoyo incondicional, por impulsarme a afrontar nuevos caminos en la vida. Por escucharme, por criticarme, por respetarme, entenderme y orientarme gracias.

Por ser un hombre bueno por eso te quiero.

Con mucho cariño.

CLAUDIA.

**A MI HERMANITA,  
ITZA SORAYA:**

Mi chiquita, este trabajo, también va dedicado a ti, y no es con la idea de que tu realices algo similar, únicamente es para que sepas que en todo momento siempre existe un pensamiento y un deseo de amor para ti. Te quiero mucho.

**PARA TI AMOR:**

He reservado este pequeño espacio únicamente para ti, para que sepas que este trabajo está dedicado al amor que hace crecer en mí la fuerza, la seguridad y la certeza de que juntos podemos realizar nuestras más grandes ilusiones.

Nada va a cambiar mi amor por ti. Te amo mucho.

**A MI AMIGA**

Por la confianza depositada en mí. Por todos esos momentos buenos y malos que compartimos juntas, por brindarme tu amistad a través de todos estos años, por compartir conmigo este paso tan importante en nuestra vida, gracias de todo corazón

CLAUDIA.

**OBJETIVOS.**

---

**OBJETIVOS :**

- A) DAR UNA INTRODUCCIÓN A LOS PRINCIPALES MATERIALES REQUERIDOS DENTRO DE LA INGENIERÍA QUÍMICA.**
  
- B) DAR LAS BASES NECESARIAS PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS MATERIALES EN LAS ACTIVIDADES DE DISEÑO, PROCESO, MANTENIMIENTO Y AQUELLAS RELACIONES IMPLÍCITAS EN LA INGENIERÍA QUÍMICA.**

**ÍNDICE**

	<b>Página.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>i</b>
<b>CAPITULO I</b>	
1.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS MATERIALES.	1
1.1.1 METALES	2
1.1.2 CERÁMICOS	5
1.1.3 POLÍMEROS	6
1.1.4 COMPUESTOS	8
1.2 EL ENLACE QUÍMICO	8
1.2.1 ENLACE METÁLICO	8
1.2.2 ENLACE COVALENTE	10
1.2.3 ENLACE IONICO	11
1.2.4 ENLACE DE VAN DER WAALS	13
1.3 CURVA DE ESTABILIZACIÓN	14
1.4 LOS MATERIALES Y SU ESTRUCTURA	15
<b>CAPITULO II ENSAYOS MECÁNICOS</b>	
2.1 DUREZA	20
2.2 TRACCIÓN	27
2.3 IMPACTO	29
2.4 FATIGA	31
2.5 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS	33
2.5.1 RADIOGRAFÍA DE METALES	33
2.5.2 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA	34
2.5.3 INSPECCIÓN POR PENETRACIÓN FLUORESCENTE DE UN TRAZADO	35
2.5.4 INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	36
2.5.5 INSPECCIÓN POR CORRIENTES PARÁSITAS	37
<b>CAPITULO III CORROSIÓN</b>	
3.1 GENERALIDADES	38
3.2 TIPOS DE CORROSIÓN	39
3.2.1 CORROSION GALVANICA	40
3.2.2 CORROSIÓN POR PICADURA	41
3.2.3 LIXIVIACION SELECTIVA	42
3.2.4 CORROSION GRAFITICA	42
3.2.5 CORROSION INTERGRANULAR	42
3.2.6 CELDAS POR CONCENTRACION DE OXÍGENO	43
3.2.7 FRACTURA POR HIDROGENO	43
3.2.8 AGRIETAMIENTO POR CORROSION BAJO ESFUERZO	43
3.3 ENSAYOS DE CORROSION	44
3.3.1 CORROSION POR TENSION	45
3.3.2 CORROSION POR FATIGA	45

**CAPITULO IV DIAGRAMAS DE FASES**

4.0 DIAGRAMA DE FASE	46
4.1 DIAGRAMAS BINARIOS	46
4.2 CONSTRUCCIÓN DE DIAGRAMA DE FASE	46
4.3 PORCIENTO RELATIVO DE CADA FASE	50
4.4 DIAGRAMAS TERNARIOS	53

**CAPITULO V ALEACIONES FERROSAS**

5.1 ESTRUCTURAS PRESENTES	56
5.2 DIAGRAMA Fe - Fe <sub>3</sub> C	59
5.3 CLASIFICACIÓN DE ALEACIONES FERROSAS	60
5.3.1 ACEROS AL CARBÓN	62
ACEROS AL BAJO CARBON	63
ACEROS AL MEDIO CARBON	63
ACEROS AL ALTO CARBON	63
5.3.2 ACEROS ALEADOS	64
ACEROS DE BAJO ALEACION	64
ACEROS DE MEDIA ALEACION	64
ACEROS DE ALTA ALEACION	64
ACEROS INOXIDABLES	66
ACEROS REFRACTARIOS	69
ACEROS PARA HERRAMIENTAS	69
5.4 SUPERALEACIONES	70
5.5 FUNDICIONES	70

**CAPITULO VI TRATAMIENTO TÉRMICO DE LAS ALEACIONES FERROSAS**

6.1 DIAGRAMAS T.T.T.	77
6.2 DIAGRAMAS ENFRIAMIENTO CONTINUO	79
6.3 RECOCIDO	83
6.4 NORMALIZADO	85
6.5 TEMPLE	87
6.6 REVENIDO	88
6.7 OTROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS	88

**CAPITULO VII ALEACIONES NO FERROSAS**

7.1 ALEACIONES DE COBRE	93
7.2 ALEACIONES DE NIQUEL	98
7.3 ALEACIONES DE ALUMINIO	103
7.4 ALEACIONES DE ZINC	107
7.5 ALEACIONES DE MAGNESIO	113
7.6 ALEACIONES DE TITANIO	118
7.7 ALEACIONES DE PLOMO	120

**CAPITULO VIII CERÁMICOS**

8.1 GENERALIDADES	125
8.2 CLASIFICACIÓN	126
8.3 PROPIEDADES	127

## **INDICE.**

---

8.3.1 TEMPERATURA DE FUSIÓN	127
8.3.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	127
8.3.3 EXPANSIÓN TÉRMICA	127
8.3.4 DUCTILIDAD	128
8.3.5 DUREZA	128
8.3.6 RESISTENCIA QUÍMICA	129
8.4 APLICACIONES	129

## **CAPITULO IX PLÁSTICOS**

9.1 OBTENCIÓN	137
9.1.1 MATERIAS PRIMAS	137
9.1.2 REACCIONES DE SÍNTESIS	137
9.1.3 TIPOS DE POLIMERIZACIÓN	138
9.2 CLASIFICACIÓN	140
9.2.1 TERMOPLÁSTICOS	140
9.2.2 TERMOFIJOS	141
9.2.3 ELASTÓMEROS	141
9.2.3.1 ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS	142
9.3 CLASIFICACIÓN POR CONSUMO	143
9.3.1 COMODITIES	144
9.3.2 VERSÁTILES	144
9.3.3 PLÁSTICOS TÉCNICOS O DE INGENIERÍA	145
9.3.4 ESPECIALIDADES	145
9.4 MODIFICACIONES	145
9.4.1 MODIFICACIONES QUÍMICAS	145
9.4.1.1 HOMOPOLÍMERO	146
9.4.1.2 COPLÍMERO	146
9.4.2 MODIFICACIONES FÍSICAS	147
9.4.3 MODIFICACIONES CON ADITIVOS	148
9.5 PROPIEDADES	148
9.5.1 PROPIEDADES MECÁNICAS	148
9.5.2 PROPIEDADES TÉRMICAS	149
9.5.3 PROPIEDADES ELÉCTRICAS	150
9.5.4 PROPIEDADES QUÍMICAS	151
9.5.5 ABSORCIÓN DE HUMEDAD	151
9.5.6 PERMEABILIDAD	151
9.5.7 FRICCIÓN Y DESGASTE	151
9.6 FORMAS DE PRESENTACIÓN	152

## **CAPITULO X MATERIALES COMPUESTOS**

10.1 CLASIFICACIÓN Y GENERALIDADES	153
10.1.1 FIBRAS MINERALES ARTIFICIALES	153
10.1.2 FIBRAS DE VIDRIO	154
10.1.3 FIBRAS DE VIDRIO EN FILAMENTO CONTINUO	155
10.1.4 LANAS AISLANTES	155
10.1.5 FIBRA DE VIDRIO PARA APLICACIONES ESPECIALES	155
10.1.6 CONCRETO	156
10.1.7 ASFALTO	156
10.1.8 MADERA	157

**INDICE.**

---

<b>10.2 PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS</b>	<b>157</b>
10.2.1 FIBRAS DE VIDRIO	158
10.2.2 CONCRETO	162
10.2.3 ASFALTO	163
10.2.4 MADERA	165
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>168</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>170</b>

## **INTRODUCCIÓN**

En el presente trabajo se pretende dar de forma general y sintetizada los lineamientos que lleven a la mejor utilización y selección de materiales para un determinado equipo y/o proceso dentro de la industria química.

De igual manera se pretende que tanto los profesionales ya en el campo de trabajo, como a los estudiantes que lo requieran, tengan una primera ayuda para considerar la gran gama de materiales existentes en la actualidad, que son básicos para algunas actividades determinadas dentro de su campo de acción. Dada la diversidad de los materiales existentes hoy en día, es necesario comprender que la estructura de los materiales es el eje que nos conlleva a su selección y aplicación, para evitar el memorizar o tener listas interminables de ellos.

Si se comprenden éstas bases, se considera que con ellas se puede avanzar con firmeza cuando se trabaja, se estudia, diseña, etc., materiales específicos o de un grado de complejidad mayor.

La selección de los materiales implica una serie de conocimientos generales acerca de la estructura molecular y sus propiedades de los diferentes materiales como son los metales, cerámicos y plásticos.

La diversidad de los materiales existentes, constituye todo un universo, de tal forma que para llevar a cabo una selección adecuada es necesario recurrir a la literatura o especificaciones de diseño de un proceso. La selección de los materiales no solo se basa en las condiciones propias a las que estará operando, sino también en lo económico y de mercado. En esta tesis no se abordan estos dos grandes temas sino, solamente se tratara de una forma muy general y teórica de los materiales más comunes.

Dentro de la Ingeniería, los materiales se manejan cotidianamente. Estas sustancias se manufacturan y procesan; se seleccionan y analizan sus fallas, o simplemente se prevé un funcionamiento adecuado de los materiales.

La selección apropiada de los materiales es de gran interés e importancia para los ingenieros, la selección de éstos, está determinada en función de diferentes factores, como son, su procesamiento; también involucran consideraciones de costo relativo, seguridad y producción.

Por lo general un especialista en materiales toma en cuenta todos los factores que intervienen en el costo final de un artículo dado.

## ***INTRODUCCIÓN.***

---

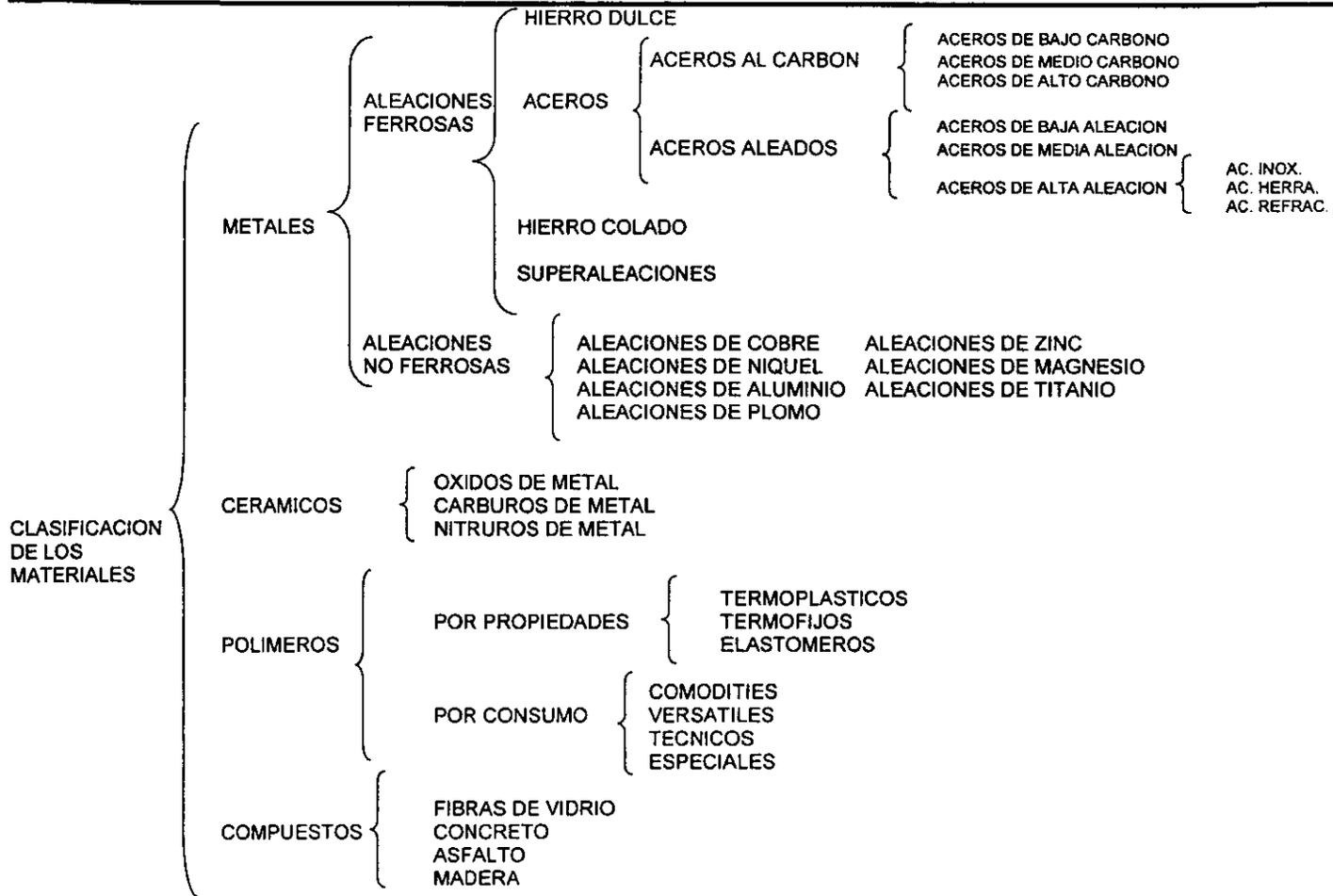
Los costos están disponibles con facilidad para el equipo construido de acero al carbón, aleaciones de acero, plásticos convencionales, fibra de vidrio, plásticos de flouorocarbono, aluminio y sus aleaciones, cobre y sus aleaciones, aceros inoxidable, aleaciones como titanio, tantalio, tungsteno o molibdeno, circonio, etc. en el mercado.

Los plásticos son materiales que han tenido y tienen un importante crecimiento, que en muchas ocasiones sustituyen a otros materiales por sus propiedades como es su resistencia inherente a las soluciones iónicas, los plásticos convencionales económicos como el polietileno, polipropileno y ABS se están convirtiendo en los más populares conforme mejoran sus características mecánicas. Sin embargo a causa de su poca resistencia y bajas temperaturas de descomposición, las aplicaciones de estos en procesos, son limitadas.

Como se mencionó anteriormente, en esta tesis se abordan los materiales en forma general, para tener una primera visión del universo de los mismos, porque si es necesario profundizar en un tipo de material en específico, se recomienda dar una primera lectura a la presente y posteriormente investigar en bibliografía más especializada respecto al tema, para profundizar el conocimiento requerido.

Esperamos que sea de ayuda para los estudiantes interesados en el tema así como para ayudar a los profesionistas que lo requieran.

**SINOPTICO.**



# **CAPITULO I**

## GENERALIDADES DE LOS MATERIALES

### 1.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS MATERIALES

La selección de los materiales de construcción de equipo químico es un problema importante de la industria química, en el que se ha de considerar la resistencia a la corrosión, la posible contaminación del producto, los riesgos industriales y la disponibilidad del material. Además, es necesario comparar el costo de la inversión inicial con la vida probable de diversos materiales.

Para usar adecuadamente los materiales, el ingeniero debe comprender la naturaleza de sus propiedades; esto requiere de la inspección de los materiales a escala microscópica. Su comportamiento en un diseño de ingeniería, puede relacionarse directamente a mecanismos que se conducen a niveles diminutos. Al especificar materiales se encuentra que:

- 1) No existe el material ideal para una aplicación.
- 2) Tan pronto como se piensa que se cuenta con un material satisfactorio entran en juego otros materiales como reemplazos potenciales.

Existen miles de materiales disponibles. Es más sencillo dividir todos los materiales de ingeniería en tres clases: metálicos, cerámicos y polímeros (plásticos, madera, etc.). Algunos autores consideran una cuarta clasificación, los materiales compuestos, pero estos son una mezcla de estas tres clases, como es la fibra de vidrio compuesto de un cerámico y un plástico, los cermets que son cerámicos y metales.

Las diferencias en las características de cada grupo tienen su origen en el tipo de enlace entre átomos y grupos de átomos. Por ejemplo, en los metales, el enlace metálico conduce a la ductilidad y alta conductividad eléctrica; en los cerámicos, los enlaces iónicos y covalentes conllevan generalmente una gran dureza, fragilidad y alta resistencia eléctrica; en los plásticos, las fuerzas covalentes e intermoleculares de Van der Waals conduce a la variedad de propiedades que se encuentran en las resinas termoplásticas y termoestables.

Las divisiones se hacen tomando como base las fuerzas de enlace entre los átomos o entre las moléculas del material. Las fuerzas de enlace dependen de la organización atómica fundamental y son similares dentro de una misma familia. Esto facilita la comprensión y clasificación de las propiedades de un material.

Podemos clasificar todos los materiales dentro de estos grupos y en combinación de ellos. Para lograr una mejor comprensión de los materiales, debemos desarrollar un conocimiento más profundo de ellos y de las razones de sus propiedades, como la resistencia, la tenacidad, la conductividad y la resistencia a la corrosión.

Es necesario entender la estructura de los materiales, que átomos están presentes y como están unidos. De modo general, podemos mostrar la organización por medio de una celda unitaria muy simple, por ejemplo, una estructura cúbica o hexagonal que consiste en unos pocos átomos. Millones de estas celdas se ordenan en conjuntos para formar los granos del material. Los granos son visibles a través del microscopio y frecuentemente son los suficientemente grandes para observarse a simple vista.

Cuando entendemos los elementos de la estructura atómica, la estructura de la celda unitaria y la microestructura, podemos clasificar los cientos de miles de materiales en unas cuantas estructuras típicas y sus combinaciones.

La estructura de un material puede considerarse en varios niveles, todos los cuales afectan el comportamiento final del producto.

En los niveles más fundamentales está la estructura de los átomos que componen el material. La distribución de los electrones alrededor del núcleo atómico afecta de manera significativa los comportamientos eléctrico, magnético, térmico, óptico, y aun la resistencia a la corrosión.

En el siguiente nivel se considera la organización de los átomos en el espacio. Los metales, muchos cerámicos y algunos polímeros tienen una organización atómica muy regular denominada estructura cristalina.

Tal configuración influye en las propiedades mecánicas de los metales, como la ductilidad, la resistencia mecánica y la resistencia al impacto. Algunas otras sustancias cerámicas y la mayoría de los polímeros no presentan una distribución atómica ordenada, por lo que estos materiales amorfos o vítreos se comportan de manera muy diferente de los materiales cristalinos.

Existe una estructura granular en la mayoría de los metales, en algunos cerámicos, y polímeros. Entre los granos el arreglo atómico cambia su orientación influyendo así en las propiedades. El tamaño y forma de los granos desempeña una función primordial en este nivel.

En la mayoría de los materiales se presenta más de una fase, cada una de las cuales tiene su propio arreglo atómico y propiedades. El control del tipo, tamaño, distribución y cantidad de estas fases dentro del cuerpo principal del material proporciona una manera adicional de controlar las propiedades.

### **1.1.1. METALES**

Los metales son cuerpos sólidos, que se distinguen por poseer las siguientes características: son sólidos a temperatura ambiente (excepto el mercurio); son bastante densos y opacos (a menos que sean reducidos a láminas de excepcional delgadez); son insolubles en agua y disolventes ordinarios; admiten un pulimento debido al cual, reflejan casi toda la luz incidente, y ello es lo que le confiere su característico "brillo metálico"; son buenos conductores del calor y de la electricidad; su forma puede ser modificada, sin que se rompan, mediante esfuerzos apropiados; son duros, dúctiles y maleables. Los metales se encuentran en la naturaleza en estado nativo (los nobles), o en combinaciones (óxido,

## CAPITULO I

---

hidróxidos y varias sales de ácidos, principalmente carbonatos, cloruros, silicatos, sulfatos y sulfuros).

Para explicar las propiedades de los metales, éstas dependen del tipo de enlace y de su estructura. Los metales constan de agregados cristalinos de átomos que pierden con facilidad electrones, por formaciones lineales regulares de cationes flotando en un mar de electrones.

Los metales y las aleaciones, que incluyen al acero, aluminio, magnesio, zinc, hierro fundido, titanio, cobre, níquel y muchos otros, tienen como características generales una adecuada conductividad tanto térmica como eléctrica, resistencia mecánica relativamente alta, alta rigidez, ductilidad o conformabilidad, y resistencia al impacto.

Los metales son útiles en aplicaciones estructurales o de carga, aunque parcialmente son utilizados en forma pura, se prefiere el empleo de sus combinaciones denominadas aleaciones, para mejorar ciertas propiedades deseadas o permitir una mejor combinación de las mismas.

Consideramos que este modelo explica dos propiedades metálicas.

Primero. El modelo explica la alta conductividad eléctrica de los metales. Si explicamos un voltaje a través de un cristal, los electrones en la nube de gas (que están enlazados debidamente) se moverán con facilidad produciendo una corriente.

Segundo. Se puede entender como ductilidad a la capacidad para deformarse sin fractura. Los átomos están empaquetados compactamente en los planos. Si aplicamos un esfuerzo cizallante, un plano se desliza sobre el otro y no se presentara fractura, porque después de moverse un diámetro atómico, las mismas fuerzas interatómicas continúan operando.

El procesamiento de los materiales genera la forma deseada de un componente a partir de un material uniforme. Los metales pueden ser procesados vertiendo metal líquido en un molde (colado). Uniendo piezas individuales de metal (soldadura autógena o con aporte, pegadura), conformando piezas metálicas sólidas mediante, altas presiones (forjando, trefilado, extrusión, laminado, doblado) compactando pequeñas partículas en una masa metálica sólida (metalurgia de polvos), o eliminando material excedente (maquinado).

De los 106 elementos conocidos que constituyen la tabla periódica, aproximadamente 81 pueden clasificarse como metales. Todos los metales poseen, en diversos grados las siguientes propiedades físicas:

1. - Conductividad Eléctrica Alta.- Considerando los metales como un grupo, tienen conductividad eléctrica, varias veces mayores que las de los no metales típicos. El mercurio es en realidad uno de los conductores metálicos más pobres, pero se emplea en muchos instrumentos eléctricos donde se necesita un conductor líquido.
2. - Conductividad Térmica Alta.- Entre los sólidos, los metales son los mejores conductores de calor.
3. - Lustre.- El aspecto agradable de las superficies metálicas pulidas se debe a su capacidad para reflejar la luz. La mayoría de los metales tienen un color blanco plateado, lo que indica que reflejan la luz de todas las longitudes de onda. El oro y el cobre absorben algo de luz de la región azul del espectro y, por lo tanto, se ven amarillo y rojo, respectivamente.

4. - **Ductilidad y Maleabilidad.**- La mayor parte de los metales son dúctiles y maleables.

La característica más sencilla y notable de los metales es su tendencia a perder electrones con facilidad. Desde el punto de vista químico, esto significa que tienden a formar iones positivos cuando reaccionan con los no metales. Desde el punto de vista físico, podemos relacionar el carácter metálico con la energía de ionización baja. Puede decirse que el carácter metálico disminuye al recorrer la tabla periódica hacia la derecha y disminuye al recorrerlo hacia abajo.

Debido a la naturaleza de las estructuras metálicas, éstas pueden ser sometidas a esfuerzos de tensión, compresión, flexión y esfuerzo cortante, así como resistir altas temperaturas. Estos efectos son importantes, por las dos razones siguientes:

1. - Cuando se trabajan los metales para lograr que las partes deseadas tengan la forma requerida y obtener las propiedades deseadas, se utilizan combinaciones de esfuerzo y calor en operaciones como el laminado, formado, recocido y tratamiento térmico.
2. - Durante su empleo todas las partes están sometidas a esfuerzos y, en muchos casos, también a temperaturas elevadas.

La dureza y la resistencia son importantes en los metales, dado que se utilizan en condiciones extremas de temperatura y presión en equipos o estructuras que operan durante años y deben proporcionar seguridad y confianza en las operaciones en las cuales participan.

La resistencia a la tracción de los metales generalmente es fácil de determinar en probetas de ensayo mecánico, pudiendo determinarse de una manera muy aproximada los límites de resistencia de la mayoría de los metales utilizados en la industria

### **Algunas Aplicaciones**

Los usos de los metales son muy variados. Por ejemplo, los aceros se utilizan en herramientas de corte, asientos de válvulas en recipientes, en la fabricación de tornillos, muelles, resortes, cadenas.

El aluminio y sus aleaciones se utilizan en la industria química cuando se requiere gran pureza y, en la industria electrolítica, en la fabricación de piezas sometidas a grandes fatigas.

El magnesio y sus aleaciones se aplican en la fabricación de piezas fundidas y sujetas a choques.

El cobre se utiliza en cables de conducción eléctrica, tuberías que conducen agua, ánodos electrolíticos, tubos, barras y alambres; es muy utilizado debido a su resistencia a la corrosión en los recubrimientos de buques y naves.

Las aleaciones de níquel se aplican en equipos que deberán soportar altas temperaturas y grandes esfuerzos mecánicos, manejo de ácidos en diferentes concentraciones y temperaturas.

Los bronce (Cu-Sn) se utilizan en la fabricación de cojinetes, calandrias, máquinas pesadas, mezcladoras, tuberías, hornos, turbinas de gas, rehervidores, tubos de condensadores, impulsores de bombas, reóstatos de reguladores.

### 1.1.2 CERÁMICOS

Los materiales cerámicos, como los ladrillos, el vidrio, la loza, los aislantes y abrasivos, tienen escasa conductividad tanto eléctrica como térmica, y aunque pueden tener buena resistencia y dureza, son deficientes en ductilidad, conformabilidad y resistencia al impacto. Por lo anterior son menos usados que los metales en aplicaciones estructurales. No obstante, presentan en su mayoría una excelente resistencia a las altas temperaturas y ciertas condiciones de corrosión. Muchos de ellos tienen propiedades ópticas, eléctricas y térmicas excepcionales.

Los materiales cerámicos pueden conformarse mediante procesos relacionados tales como colado, conformado, extrusión, los cerámicos y los polímeros contienen enlaces iónicos, covalentes y de Van der Waals.

Sin embargo, la diferencia de radios entre los iones tiene una función importante en la distribución de estas en la red del cerámico.

En los materiales cerámicos, tanto la disposición de los átomos como el tipo de enlace son diferentes. Así la disposición regular de los átomos determina la vía de la fractura, que está íntimamente relacionado con la forma en que están colocados los planos de los átomos.

En verdad, la mayoría de los materiales cerámicos tienen enlaces que son parcialmente iónicos y parcialmente covalentes. Puesto que los electrones están en movimiento, podemos decir que el enlace está dividido entre enlaces iónicos y covalentes. Además de estos enlaces, las fuerzas de Vander Waals entran en acción, pero son de menor magnitud.

Muchos materiales cerámicos también contienen enlaces covalentes; Este enlace se caracteriza porque los electrones se sostienen firmemente y se comparten igualmente por los átomos participantes. Un ejemplo importante es el del cristal de diamante en el cual cada átomo de carbono, está en el centro de un tetraedro, y comparte cada uno de sus electrones con los átomos vecinos.

El grupo de los cerámicos, desde el punto de vista de los materiales para ingeniería, es de vital importancia, ya que comprende no solamente los cerámicos tradicionales tales como hormigón, vidrio, loza y ladrillo, sino también los más modernos, tales como los materiales para láser, los ferroeléctricos de titanato de bario, magnéticos, cerámicos y vidrios sensibles a la luz.

Hay varios materiales cerámicos que se emplean como refractarios por tener buena resistencia al calor. Sin embargo, la temperatura de operación del equipo y el grado de choque térmico son importantes para poder usar un material como refractario resistente a altas temperaturas.

La dureza y la resistencia son importantes en algunos casos. Dos de los métodos para probar la dureza en el metal son los ensayos Brinell y Rocwell, no se usan en los materiales cerámicos porque el material se fracturaría. El ensayo de Vickers es el que se utiliza.

La resistencia a la tracción de un material cerámico, generalmente es difícil de determinarla, debido a la formación de pequeñas rajaduras que casi siempre se presentan en muestras de tamaño apreciable. Hace tiempo, Griffith demostró que las fibras finas de vidrio, tenían resistencias a la tracción muchas veces mayores

que las del material en bruto, porque era posible producir fibras relativamente libres de defectos. En materiales frágiles, como son la mayoría de los cerámicos, una rajadura se propaga fácilmente bajo esfuerzo debido a que no se disipa energía en la deformación plástica delante de la malla, como ocurre con un metal.

Por lo tanto, podemos decir que la "tenacidad a la fractura" del material cerámico es baja. Y resistencia a la compresión puede ser excelente.

### **1.1.3 POLÍMEROS**

Los polímeros son un grupo fascinante de materiales, esto no solo se debe a la creciente importancia que tienen en la ingeniería, sino también a que las estructuras pueden alterarse y hacerse a medida para dar un amplio espectro de color; transparencia y forma en diversas maneras.

Los polímeros utilizados en la ingeniería, incluyen los materiales sintéticos (plásticos, fibras y elastómeros) y los materiales naturales (caucho, lana y celulosa).

Los plásticos y muchos tipos de adhesivos, se producen creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas obtenidas del petróleo o productos agrícolas, en un proceso conocido como polimerización. Los polímeros tienen baja conductividad eléctrica y térmica, escasa resistencia mecánica y no se recomienda para aplicaciones en temperaturas elevadas. Algunos polímeros (termoplásticos) presentan excelente ductibilidad, conformabilidad y resistencia al impacto, mientras otros (los termoestables) tienen las propiedades opuestas. Algunos polímeros son ligeros y con frecuencia cuentan con excelente resistencia a la corrosión.

Los polímeros se fabrican a partir de materias orgánicas, y por lo tanto, la estructura central es la cadena de átomos de carbono. Revisando al carbono, se observa que hay cuatro electrones en la capa exterior, generando una valencia de cuatro. Con cada electrón, se puede formar un enlace covalente con otro átomo de carbón o con un átomo extraño de similar electronegatividad.

En el interior de cada estructura polímera, se da el hecho de que 2 átomos de carbono pueden compartir uno, dos o tres pares de electrones. Debido a esto, los plásticos tiene como característica común la de hallarse constituidos por macromoléculas, o sea, moléculas muy grandes que resultan de la unión de numerosos grupos de átomos, todos ellos iguales; al grupo que se repite se le llama monómero, y al que resulta de la unión de sus moléculas, polímero. Hay que tener en cuenta, que después de que dos monómeros se unen, todavía hay dos enlaces libres para unirse a otros monómeros, de modo que el proceso puede seguir indefinidamente uniendo monómeros hasta que se suspende con la adición de otra sustancia química llamada "terminados", el cual satisface los enlaces en los extremos de las moléculas.

Los polímeros se producen mediante moldeado por inyección de plástico reblandecido (similar al colado); asimismo son extruidos y conformados. A menudo un material es tratado térmicamente a una temperatura por debajo de su punto de fusión para producir un cambio deseable en la estructura. El tipo de procesamiento utilizado depende, al menos de modo parcial, de las propiedades de la estructura, y por lo tanto del material.

El enlace de Van der Waals tiene lugar, hasta cierto punto, en todos los materiales pero es especialmente importante en los plásticos o polímeros mayores. Las moléculas están conformadas por una columna dorsal o esqueleto de átomos de carbono enlazados en forma covalente y otros átomos como hidrógeno, nitrógeno, flúor, cloro, azufre y oxígeno, unidos lateralmente a otros átomos de carbono.

Dentro de la molécula, los enlaces covalentes son muy fuertes y únicamente se rompen bajo condiciones extremas. Son de mayor importancia los enlaces intermoleculares, ya que permiten el deslizamiento y finalmente la ruptura.

A medida que las moléculas aumentan de tamaño, también aumenta el total de las fuerzas de Van der Waals entre las moléculas. Por ejemplo, en las moléculas de polietileno podemos encontrar la misma relación de átomos de carbono e hidrógeno como en el gas de etileno simple, pero a medida que aumenta el número de átomos en la molécula, pasamos de un gas a un líquido y, finalmente, a un plástico sólido.

Un punto vital para producir las cadenas largas de carbono, es que se pueden tomar dos moléculas de un material como el etileno, en el cual hay dos enlaces carbono-carbono, abrir uno de los enlaces en cada una y unir moléculas.

En este caso sencillo, se forman ciertos números de moléculas grandes de un polímero lineal, el polietileno. La molécula es una línea recta que se denomina "polímero lineal", pero debemos recalcar, que en realidad las moléculas no son rectas sino que pueden imaginarse como una masa de gusanos tomados al azar dentro de una olla.

Se denomina "termoplásticos" al grupo de plásticos que se plastifican cuando se calientan. Hay otro grupo en el que una red sencilla pero grande, con muchas moléculas, se forma durante la polimerización. Puesto que esto generalmente se realiza calentando los materiales básicos juntos, este grupo se denomina "plásticos termoestables".

Los materiales termoplásticos se convierten en líquidos si se calientan y luego se endurecen si se enfrían. El efecto del calor es vencer las fuerzas de Van der Waals entre las moléculas por medio de la agitación térmica haciendo posible el flujo. En contraste en los materiales termoestables encontramos redes tridimensionales de enlaces covalentes, en lugar de las moléculas largas en forma de cadena de los termoplásticos. Estas redes no se rompen fácilmente con el calor y, por lo tanto, tenemos materiales más fuertes y duros. Por otro lado, estos materiales no son tan moldeables como los termoplásticos.

Además de los enlaces covalentes dentro de la molécula, existen enlaces de Van der Waals entre las moléculas y en partes que se superponen de la misma molécula. Estos son menos resistentes que los enlaces covalentes, pero son muy importantes, porque en la mayoría de los casos, los esfuerzos requeridos para la fractura están relacionados con la fuerza necesaria para separar las moléculas, en lugar de la requerida para romper los enlaces de la molécula.

Por otra parte, hemos hablado del átomo de carbono y la agrupación del carbono y de otros átomos de muchas cadenas unidas, produciendo las moléculas. Ahora,

estas cadenas que muchas veces contienen 10,000 átomos, pueden doblarse una y otra vez para formar cristales. Ello es posible en algunos casos, pero donde ocurre, las propiedades del polímero cristalino son bastante diferentes de la estructura desorganizada del material amorfo, aunque por lo general la cristalización se completa solo parcialmente.

Un ejemplo de un plástico termoestable es una bola de billar, puesto que esencialmente hay una molécula gigante, no hay movimiento entre las moléculas una vez que la masa ha fraguado. Más aún, el material no se volverá plástico al calentarlo puesto que no hay movimiento entre las moléculas, como ocurre en los termoplásticos. Así, para que se forme una estructura de red, los meros deben tener más de dos sitios para el enlace; de otro modo únicamente se obtendrá un polímero lineal. Ambas estructuras son útiles. Los termoplásticos se forman con más facilidad y se deforman elásticamente y pueden refundirse, mientras que los polímeros termoestables son más rígidos y generalmente tienen mayor resistencia.

### **1.1.4 MATERIALES COMPUESTOS**

Son mezclas de dos o más materiales. Los componentes no se disuelven uno en otro si no que pueden ser físicamente identificables por una interfase entre los compuestos. Algunos tipos son fibras y partículas. Dos tipos modernos de materiales compuestos usados para aplicaciones de ingeniería son fibra de vidrio reforzado en poliéster o epoxy y, fibras de carbón reforzado en epoxy. Otro ejemplo de estos compuestos es: vidrio reforzado en sulfuro de polifenilano (PPS), la madera es un excelente ejemplo de material natural con excelentes propiedades mecánicas debido a la estructura de fibra reforzada que presenta. El concreto es un común ejemplo de material compuesto.

## **1.2 EL ENLACE QUÍMICO.**

En la clasificación de los materiales dentro de la ingeniería química, el tipo de enlace químico entre los átomos y grupos de átomos es muy importante, ya que las diferencias básicas existentes entre cada grupo de ellos tienen su origen en las diferencias básicas que hay en el enlace químico.

### **1.2.1 ENLACE METÁLICO.**

Generalmente se sabe que el enlace metálico de cualquier elemento, en su estructura atómica, se compone de un núcleo cargado positivamente, rodeado de electrones que giran a diferentes distancias. El número atómico es igual al número de estos electrones, es útil considerar estos electrones como localizados en diferentes niveles de energía, llamados capas.

Se forma debido a que los electrones pueden moverse de manera que quedan cercanos simultáneamente dos o más núcleos positivos. Se puede representar a un metal como un enrejado de iones positivos, colocados en los nudos de la red cristalina y sumergidos en una nube de electrones móviles. En el enlace metálico,

## CAPITULO I

los electrones tienen capacidad de desplazarse en todos los sentidos, casi uniformemente por todo el cristal. Los electrones móviles o no localizados que existen en el enlace metálico explican la maleabilidad y ductilidad debido al libre movimiento sin destruir el enlace. Los metales son buenos conductores de la electricidad debido a que algunos electrones de valencia tienen libertad de movimiento a través del sólido. Al mismo tiempo estos electrones móviles son capaces de mantener unido al cristal, puesto que en cualquier dirección que se muevan están próximos simultáneamente a dos o más núcleos. El brillo metálico se explica mediante la movilidad de los electrones. La luz al incidir sobre la superficie es absorbida por la pérdida de electrones de la superficie. Estos electrones ocasionan una oscilación rápida, con cualquier movimiento de la carga eléctrica emiten energía radiante. El efecto neto de la absorción y emisión de energía radiante hace que la superficie metálica refleje la luz.

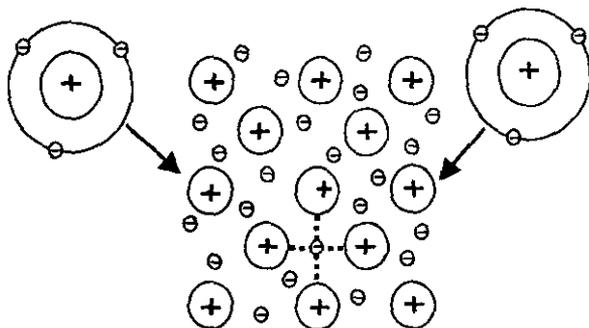


Figura. 1.2.1.1 Enlace metálico

Por ejemplo, el magnesio, que tiene un número atómico de 12, contiene dos electrones en la primera capa (la más cercana al núcleo), 8 electrones en la segunda capa y dos electrones en la capa externa.

La clave para la formación del enlace metálico es que los elementos presentan valencias bajas, es decir presentan solamente uno, dos y tres electrones en su último nivel de energía, porque ceden sus electrones para formar una nube de electrones con ellos la cual rodea a los átomos del elemento.

Entonces cuando colocamos juntos un número de átomos de magnesio, en un bloque de magnesio, los electrones exteriores abandonan los átomos individuales y pasan a formar un "gas de electrones" común (figura 1.2.2). Por lo tanto, los átomos se convierten en iones de  $Mg^{2+}$ , estos se repelen entre sí, pero gracias a la atracción entre los electrones negativos y los iones positivos permanecen en el bloque de iones de  $Mg^{2+}$ .

Los electrones que mantienen ligados a los átomos no están fijos en una posición, por ello cuando se dobla un metal, los átomos intentan cambiar la relación entre ellos, la dirección del enlace simplemente se desliza en lugar de romperse sin fractura de los metales.

El enlace metálico permite también que los metales sean buenos conductores eléctricos, con un voltaje aplicado a los extremos de un alambre metálico, los electrones que forman la nube electrónica se moverán con gran facilidad y constituyen una corriente que fluye si el circuito no está interrumpido.

El comportamiento metálico se encuentra principalmente en los elementos de los grupos I y IIA, y los grupos III, IV y VB.

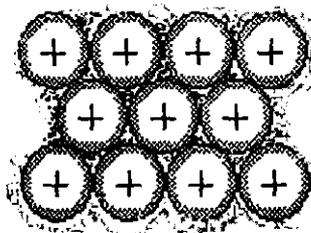


Figura 1.2.1.2 Nube electrónica de electrones de valencia.

### 1.2.2 ENLACE COVALENTE.

Experimentalmente se ha visto que las moléculas más estables son las moléculas diatómicas como las de hidrógeno, oxígeno, flúor, etc. Cuando estos átomos se unen para formar la molécula no pueden transferir electrones de un átomo a otro y sin embargo tienen una configuración muy estable debido a que la unión la hacen compartiendo electrones, los átomos que se enlazan de esta manera tienen carga eléctrica neutra, puesto que todos los electrones de los dos átomos participan en la interacción de los dos núcleos y esta coparticipación tiene particular importancia. La nube electrónica forma un enlace con el núcleo y de esta manera los electrones son fuertemente atraídos por el núcleo y se dice que forman un enlace covalente. Cada electrón contribuye a formar el par de enlace. Cada par de enlace constituye una unión covalente. En muchos materiales cerámicos se encuentra este tipo de enlace. Un ejemplo importante es el caso de la sílice (vidrio) en donde los cuatro electrones externos del silicio pueden compartirse con el electrón de la capa externa de cada uno de los cuatro átomos de oxígeno y formar una capa estable de ocho electrones. En esta forma se tendrá cada átomo de silicio rodeado por un tetraedro de cuatro átomos de oxígeno con ángulo de  $109^\circ$  aproximadamente entre los enlaces covalentes. Cada átomo de oxígeno está situado entre dos átomos de silicio y comparte un electrón a cada lado. El enlace

es también en parte iónico porque el oxígeno es un poco más electronegativo y tiende a atraer con mayor fuerza a los electrones. En el cuarzo que es una forma de sílice, este enlace da como resultado alta dureza y baja conductividad eléctrica. Como las uniones covalentes son muy fuertes, los materiales así enlazados tienen poca ductilidad y escasa conductividad eléctrica, por ello cuando se dobla una barra de silicio, los enlaces se rompen porque los átomos de este elemento van a cambiar permanentemente su relación de la misma manera para que un electrón se mueva y forme una corriente eléctrica el enlace deberá romperse para liberar al electrón, requiriendo temperaturas muy altas o voltajes muy elevados. De esta manera los materiales formados por enlaces covalentes son muy frágiles en vez de dúctiles, comportándose como aislantes eléctricos y no como conductores, muchos materiales cerámicos y polímeros están completos o parcialmente unidos por enlaces covalentes lo que explica él porque el vidrio se rompe cuando es golpeado y por que los ladrillos son buenos aislantes del calor y de la electricidad.

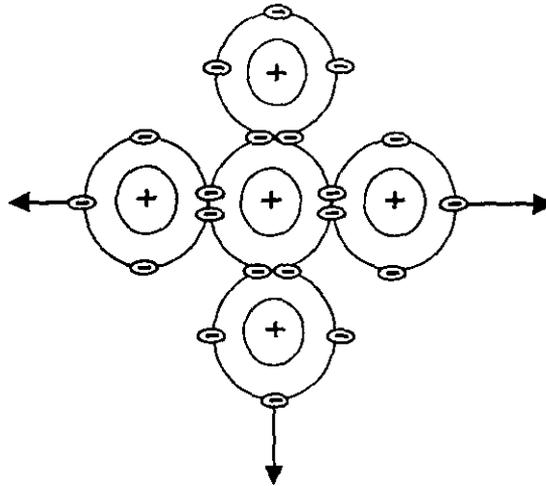


Figura 1.2.2.1 Enlace covalente

### 1.2.3 ENLACE IONICO.

El enlace electrovalente o iónico ocurre entre elementos de alta y baja electronegatividad, se origina por una transferencia completa de uno o más electrones de un átomo o grupo de átomos, a otro. Así mismo se puede definir el enlace electrovalente o iónico, como la atracción electrostática entre iones de carga opuesta. Esta fuerza de atracción explica la estabilidad de los compuestos electrovalentes por ejemplo: NaF, LiCl, NaCl. Sus fuerzas electrostáticas son tan grandes que en el estado sólido toman una estructura ordenada geométrica o reticular (red cristalina) y en el estado líquido y en soluciones interaccionan fuertemente con iones o moléculas de otro material presente.

La unión del enlace iónico ocurre entre elementos metálicos y no metálicos, químicamente sabemos que los elementos no metálicos contienen un mayor

numero de electrones en su nivel exterior que en caso de un elemento metálico, por lo que al unirse habrá pérdida y ganancia de electrones.

El enlace iónico se forma cuando se traslapan reempes u orbitales incompletas pertenecientes a distintos átomos, o cuando los átomos tienen diferentes electronegatividades. Comparando las propiedades de una estructura iónica con la estructura metálica, se encuentra que la conductividad eléctrica del sólido es menor en varios órdenes de magnitud que la de los metales, esto a consecuencia de que los electrones no están libres sino firmemente sostenidos en su lugar. El cristal se fractura de manera frágil debido a que cuando se trata de deslizar un plano de iones sobre otro, los campos eléctricos de iones diferentes se oponen.

Por ejemplo en el caso del NaCl se forman iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , los cuales se atraen naturalmente debido a sus cargas opuestas. Al disolver el NaCl en agua, los iones existen independientemente en solución. En el cristal de NaCl los iones se organizan por si solos en una estructura balanceada eléctricamente, como se muestra en la figura 1.2.3.1.

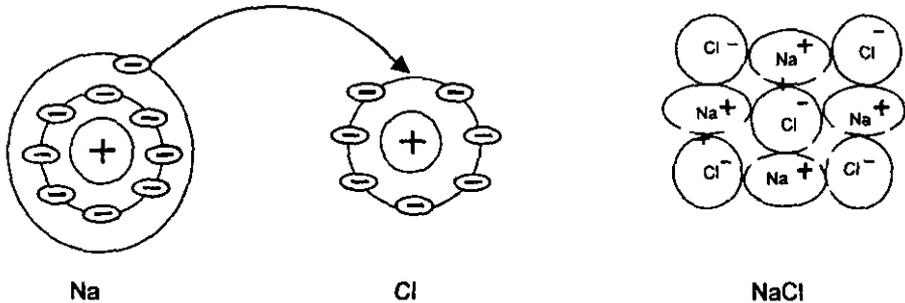


Figura 1.2.3.1 Enlace iónico

La capa externa de un átomo de cloro tiene siete electrones y existe una fuerza muy grande para atraer un electrón y formar así un elemento estable de ocho electrones, cuando reacciona el sodio, el cual cuenta con un electrón en su capa externa, lo cede para formar una capa exterior estable con el cloro, ambos tienen ahora un nivel energético externo lleno o vacío, por lo tanto han adquirido carga eléctrica, comportándose como iones. El átomo que cede los electrones adquiere una carga neta positiva (catión), el átomo que acepta los electrones adquiere una carga neta negativa (anión), así que los iones con cargas opuestas se atraen produciendo la unión iónica.

### 1.2.4 ENLACES DE VAN DER WALLS.

Este tipo de enlace ocurre, hasta cierto punto en todos los materiales pero especialmente es importante en los plásticos o polímeros mayores. Las moléculas están conformadas por una estructura de átomos de carbono con enlaces covalentes y otros átomos como hidrógeno, nitrógeno, flúor, cloro, azufre y oxígeno, unidos a los lados con otros enlaces de carbono.

Dentro de la molécula, los enlaces covalentes son muy fuertes y únicamente se rompen bajo condiciones extremas. Los que tienen gran importancia son los enlaces intermoleculares que acompañan al deslizamiento y finalmente se rompen. A estos enlaces se les llama "fuerzas de Van der Waals", esta fuerza de atracción proviene del movimiento continuo y desordenado de las moléculas, se producen como resultado una oscilación periódica de los electrones en las moléculas próximas, dando lugar a la formación de dipolos inestables que a su vez originan atracciones momentáneas. Las fuerzas de Van der Waals son más intensas cuanto más electrones contienen las moléculas y cuanto más débiles son los enlaces que los unen. Las fuerzas de Van der Waals aumentan a medida que las moléculas van creciendo. Por ejemplo, con las moléculas de polietileno se encuentra la misma relación de átomos de hidrógeno y átomos de carbono, como en el gas etileno simple, pero a medida que aumenta el número de átomos en la molécula, se pasa de un gas a un líquido y finalmente a un plástico sólido.

Los enlaces de Van der Waals unen moléculas o grupos de átomos mediante atracciones electrostáticas débiles. Muchos plásticos, cerámicos, micas, el agua y otras moléculas están permanente o instantáneamente "polarizadas" esto es, una porción de la molécula tiende a estar con carga positiva, mientras otra porción de la misma molécula está cargada negativamente. La atracción electrostática entre las regiones positivas de una molécula y las regiones negativas de una segunda molécula unen débilmente a las dos.

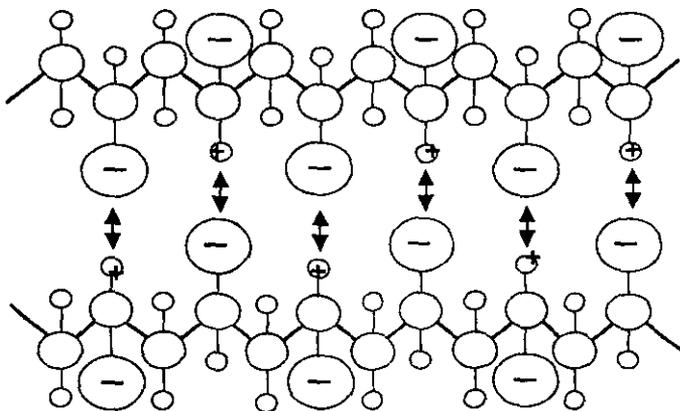


Figura 1.2.4.1 Enlace de Van der Waals.

### 1.3 CURVA DE ESTABILIZACION

La repetición periódica de las propiedades químicas de los elementos con el incremento del número atómico, y de ahí de la masa, *no guarda relación* con el núcleo sino de los electrones en donde se asienta la capacidad de reacción química.

Hemos visto que, independientemente del número total de electrones presentes, la configuración electrónica en las capas externas de todos los átomos que pertenecen a un grupo dado es esencialmente idéntica. Este último hecho sugiere que la reactividad química está asociada con los electrones más externos del átomo y no depende de grado alguno de los que se encuentran en las capas muy por debajo de la superficie. Por esta razón cualquier explicación de las leyes de combinación química y valencia deben basarse en el comportamiento de los electrones más externos, y en la interacción de ellos con otros semejantes de átomos distintos.

A causa de la naturaleza electrostática de la fuerza de enlace, la ligadura entre los átomos se dice que es iónica o electrovalente, y se dice que la valencia es una electrovalencia. La ligadura iónica está presente en las moléculas de gas tales como los cristales iónicos. Consideremos primero una sola molécula constituida por un par de iones que tienen núcleos  $A$  y  $B$  con número atómicos  $Z_A$  y  $Z_B$ . La configuración espacial de los núcleos está especificada por la distancia  $r$  entre ellos. La energía potencial electrostática de atracción entre estos iones está dada por:

$$\frac{-Z_A Z_B e^2}{r}$$

Donde  $r$  es la distancia de separación de los dos iones. Así para cada valor de  $r$  se obtienen diferentes energías y función de onda electrónicas; estas cantidades dependen de  $r$  como parámetro y varían continuamente al variar  $r$ .

Por supuesto, una molécula tiene muchos estados electrónicos diferentes posibles. Hay una energía y una función de ondas electrónicas diferentes para cada uno de dichos estados, que varían al variar la configuración nuclear. En la figura 1.3.1 se muestra curvas de  $E_e(r)$ , ya que  $E_e(r)$  es la función de energía potencial para el movimiento de los núcleos, un estado con un mínimo en la curva es un estado enlazado, con los átomos enlazados entre sí. En un estado electrónico sin mínimo, la energía potencial,  $E_e(r)$  aumenta continuamente al disminuir  $r$ , esto significa que los átomos se repelen entre sí al irse acercando, y este no es un estado enlazado. Los átomos que se van acercando, simplemente rebotan entre sí.

La distancia internuclear  $r_e$  en el mínimo de la curva  $E_e$  de un estado electrónico enlazado es la distancia de enlace en equilibrio para dicho estado.

Debido a las vibraciones moleculares en el punto cero,  $r_e$  no suele ser la misma que la longitud de enlace observada. Al tender  $r$  a cero,  $E_e$  tiende a infinito, debido a la repulsión internuclear. Al tender  $r$  a infinito  $E_e$  tiende hacia

la suma de las energías de los átomos separados en los que se descompone la molécula.

La razón de la estabilidad de un enlace covalente es una cuestión todavía no establecida. Una afirmación, en cierto modo muy simplificada, es que la estabilidad es debida a la disminución en la energía potencial media de los electrones que forman el enlace. Esta disminución resulta de la mayor atracción electrónica – nuclear de la molécula comparada con la existente en los átomos separados. Los electrones pueden sentir la atracción simultánea de dos núcleos. Esta disminución en la energía potencial electrónica sobrepasa el aumento en repulsiones interelectrónicas e internucleares, que aparecen al acercarse los átomos.

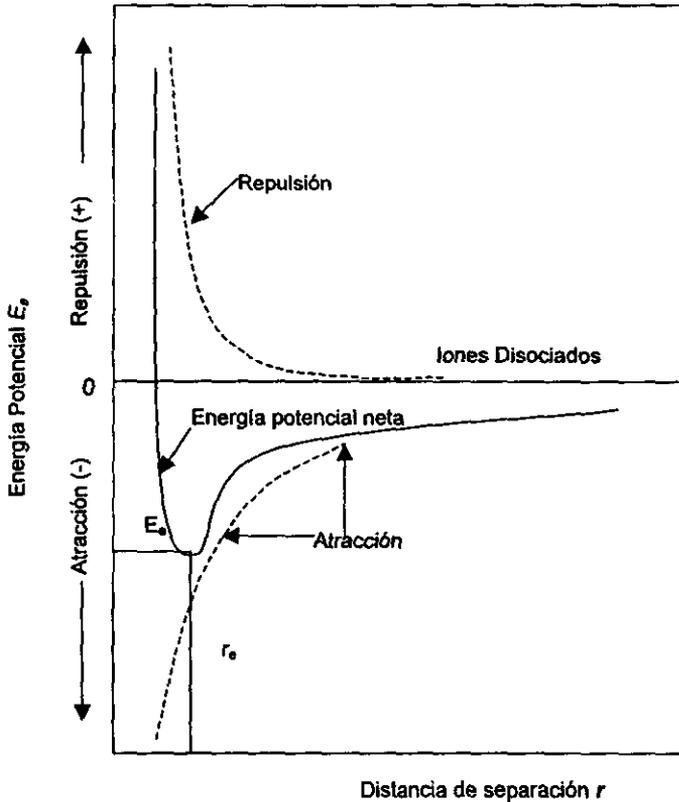


Figura 1.3.1 Curva de Estabilización

## 1.4 LOS MATERIALES Y SU ESTRUCTURA.

### CELDA UNITARIAS

La disposición o el arreglo de los átomos determinan la microestructura y el comportamiento de un material

El arreglo atómico se distribuye en todo el material. La red o grano (también llamada retícula o látice) es un conjunto de puntos llamados reticulares los cuales siguen un patrón regular que es la celda unitaria. Así cada átomo tiene un ordenamiento en particular dentro de los puntos reticulares, así como un ordenamiento regular puesto que la red se distribuye en todo el material.

La celda unitaria es sencillo describir ya que es una unidad básica en la estructura de los materiales. Se puede definir el concepto como la menor división de una red que mantiene las características de ésta. Se consideran 14 tipos de celdas unitarias o redes de Bravais, agrupadas en 7 estructuras cristalinas. Los puntos reticulares están en las esquinas de las celdas unitarias, y en algunos casos en el centro de cada una de las caras o de toda la celda. Algunas de estas estructuras se ejemplifican en la figura 1.4.1.

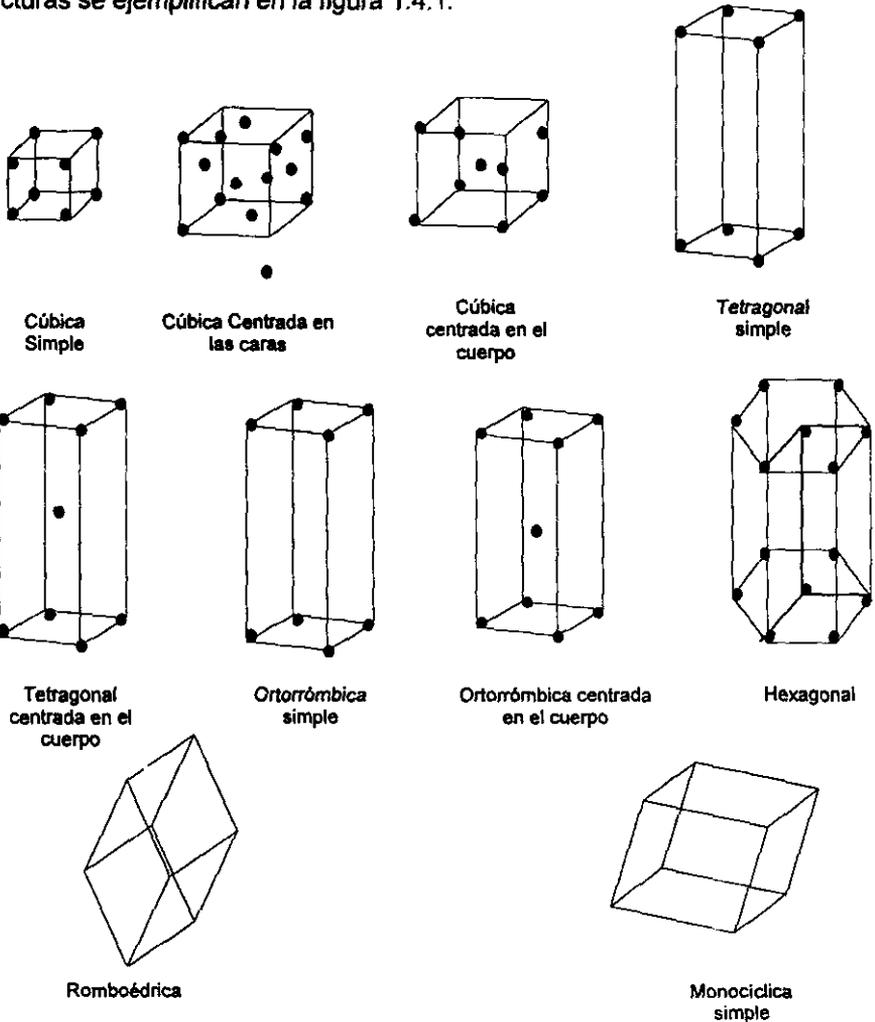


Figura 1.4.1 Celdas unitarias.

La descripción de la estructura cristalina por medio de las celdas unitarias, son solo 7 formas de celdas en general que pueden apilarse juntas llenando un espacio tridimensional. Los átomos pueden ser apilados dentro de una celda en los puntos reticulares, esto limita el número de posibilidades en cuanto a las variedades en las formas de una celda, teniendo solamente 14.

En los metales se encuentran comúnmente 3 tipos de estructuras las cuales son: cubica de cuerpo centrado (BCC), cubica de cara centrada (FCC) y hexagonal compacta (HPC).

Las dimensiones de una celda las podemos determinar por medio de difracción de rayos X. Conociendo dichas dimensiones podemos estimar ciertas propiedades de la celda como son: densidad lineal, densidad planar y radio atómico.

Al determinar y el número de átomos en un plano, nos servirá para saber en que direcciones y/o planos se dará deslizamiento, la densidad lineal y planar nos dan a conocer el número de átomos que tenemos en una dirección cuando sometemos un material bajo esfuerzo, es decir, habrá una deformación.

El radio atómico tienen importancia pues los átomos del segundo elemento pueden sustituir algunos átomos del elemento principal. La similitud de los dos metales regula el grado hasta el cual puede ocurrir esta sustitución, y una medida importante de la similitud es el radio atómico.

Las soluciones sólidas cuando se presentan condiciones diferentes de temperatura y presión se forman diferentes estructuras cristalinas de algunos materiales. Cuando el material tiene más de una estructura se dice que tiene diferentes formas alotrópicas.

A algunos elementos se les agregan otros para mejorar sus propiedades como son: resistencia a la corrosión, ductilidad, dureza, etc. El cambio en las propiedades se debe a un cambio en la estructura y esta puede ser:

- a) Los átomos del nuevo elemento y el original forman una solución sólida de una fase.
- b) Los átomos del nuevo elemento y algunos del original forman una fase nueva, por tanto se presentan dos fases.

Las soluciones sólidas son:

- 1.- Soluciones de sustitución: se dan cuando los átomos de un elemento sustituyen átomos de la solución original.
- 2.- Soluciones intersticiales: se dan cuando los átomos del nuevo elemento ocupan espacios existentes entre los átomos de la solución original.

Los principios de la formación de soluciones de sustituciones en elementos también se aplican a compuestos, en general la sustitución de un ion por otro es afectado por la carga que presenten.

## DIFRACCION DE RAYOS X

Mediante el uso de los rayos X se han determinado las características de las diferentes celdas unitarias. Se ha utilizado en la microsonda electrónica, para determinar la microestructura y para identificar materiales desconocidos. El método de difracción de rayos X mide las distancias entre los planos de átomos.

La técnica de difracción de los rayos X consiste en hacer incidir sobre una muestra en forma de polvo de material un haz de rayos X de longitud de onda conocida. El haz de rayos X se difracta a un ángulo específico en relación con el haz incidente, de acuerdo con la ley de Bragg:

$$\lambda = 2d \text{ Sen } \theta$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda conocida,  $\theta$  es el ángulo de difracción y  $d$  la distancia interplanar. Si se fija la longitud de onda, los átomos en un plano en particular ocasionan que los rayos X se difracten en un ángulo en especial. El haz difractado de rayos X intercepta e impresiona una película fotográfica que rodea a la muestra. Analizando la película y calculando el ángulo de  $2\theta$ , se puede determinar la distancia interplanar y con ello la microestructura que presenta el material.

## IMPERFECCIONES DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA

Como los materiales no son perfectos y presentan defectos como son: puntuales o átomos faltantes, lineales o hileras de átomos faltantes también llamadas dislocaciones, defectos de área, defectos de volumen como las cavidades reales etc. esto provoca que los metales tengan diferentes grados de dureza y por tanto diferentes aplicaciones.

Si se contara con una red perfecta para desplazar los átomos, se necesita aplicar un esfuerzo elevado, pero cuando tenemos una dislocación los átomos no están sostenidos firmemente y la dislocación se desplaza fácilmente, por tanto tenemos una menor resistencia a la fluencia. Esto se puede apreciar también en el mecanismo del deslizamiento, tomando el movimiento de un gusano como ejemplo.

La dislocación se mueve a través del plano de deslizamiento y deja un escalón cuando sale a la superficie del cristal. Cada vez que la dislocación se mueve a través del plano de deslizamiento, el cristal se mueve un espacio de átomo. Como los átomos no terminan en posiciones exactamente normales después del paso de la dislocación, movimientos interiores de la dislocación a través del plano de deslizamiento encuentran mayor resistencia. Eventualmente esta resistencia llega a ser suficientemente grande para trabajar la dislocación en la estructura cristalina y el movimiento se detiene.

El efecto de las dislocaciones en los metales ayuda a comprender algunas de sus características, así como a modificarlas para obtener las propiedades deseadas.

### A).- Trabajo en frío:

Este término se da durante el proceso o trabajo de los metales, estos no son ni han sido calentados. Cuando se dice que un metal ha sido trabajado en frío es por

que el metal cuando lo sometemos a una carga este sobrepasa su límite de fluencia pero no llega al esfuerzo último, cuando se elimina la carga este ya ha sufrido deformación plástica, por tanto no regresa a su estado original, ahora, si este metal se vuelve a someter a carga su límite de fluencia será ahora el punto a donde llego en la deformación plástica, es decir, su punto de fluencia se recorrió, de tal forma que solo sufrirá una deformación plástica nueva después de este punto.

Esto se explica sobre la base de las dislocaciones, cuando el material es sometido a carga la deformación se produce por deslizamiento de los planos provocando deslocalizaciones, pero conforme se acumulan más y más se cruzan entre sí, requiriéndose un mayor esfuerzo para que se mantenga en movimiento. De esta manera cuando el metal ya ha sido trabajado en frío se requiere un mayor esfuerzo para provocar deformación, esto implica un aumento en la dureza del metal.

**B).- Endurecimiento por solución**

Una solución sólida es más fuerte que un metal puro. El fortalecimiento es debido a que un átomo más grande o uno más pequeño redice la zona deformada al rededor de una dislocación. Aquí debemos recordara que se requiere una energía extra para esas regiones o zonas deformadas. Así si una dislocación se encuentra con un átomo que forma una impureza el volumen formado se reduce. La dislocación encuentra resistencia para moverse más allá del átomo que forma la impureza debido a que la región deformada tendría que agrandarse nuevamente. En consecuencia se requiere mayor esfuerzo para continuar la deformación.

**C).- Efecto de la temperatura sobre los materiales trabajados en frío.** Cuando se requiere que los materiales que han sido trabajados en frío recuperen su estructura original, lo que se hace es aplicar un proceso llamado recocido. Este consiste en calentar el metal para así eliminar el deslizamiento extensivo y los nudos de dislocaciones. Esto se debe a que las altas temperaturas favorecen los saltos de los átomos o difusión. Al calentar se observa que el metal se ablanda esto se debe al crecimiento de los granos, este es un proceso irreversible, y la única manera en que el tamaño de grano puede refinarse, es destruyendo los granos originales y empezar otra vez.

De esta manera la resistencia y la dureza disminuyen con el aumento del tamaño de grano, pero la ductilidad aumenta.

## **CAPITULO II**

## ENSAYOS MECÁNICOS

Las dos propiedades esenciales, de cualquier material utilizado en la construcción de un equipo, son que no debe ser atacado rápidamente por los productos químicos, y la otra el que debe ser mecánicamente seguro.

Los materiales se seleccionan para diversas aplicaciones y componentes adecuados a las propiedades del material a las condiciones funcionales requeridas por el componente. El primer paso en el proceso de selección requiere que se analice la aplicación para determinar las características más importantes que debe poseer el material.

Una vez determinadas las propiedades se selecciona el material apropiado usando datos que se encuentran en los manuales. Sin embargo, se debe saber cómo se obtienen las propiedades listadas en los manuales, saber que significan y darse cuenta que resultan de pruebas ideales que pueden no aplicarse con exactitud a casos reales de la ingeniería.

La resistencia de un material, se indica por propiedades tales como la dureza, la tenacidad y la ductilidad, que también influyen en la elección de un material. Estas propiedades se determinan mediante ensayos, comparando los resultados obtenidos con patrones establecidos.

En este capítulo se estudiarán diversos ensayos que se utilizan para medir cómo se comporta un material al aplicarle una fuerza. Los resultados de estas pruebas constituyen las propiedades mecánicas del material.

### 2.1 DUREZA

Es difícil definir la propiedad de "dureza", excepto en relación con la prueba empleada en particular para determinar su valor; este valor indica la resistencia que opone un material a ser mellado o rayado.

El ensayo de dureza mide la resistencia a la penetración sobre la superficie de un material, efectuada por un objeto duro. Se han diseñado diversas pruebas de dureza, pero las comúnmente usadas son el ensayo Rockwell y el Brinell.

La dureza no es una propiedad fundamental de un material, sino que está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve solo como comparación entre materiales o tratamientos. El tratamiento térmico o el trabajo efectuado en una pieza metálica resulta generalmente en un cambio de dureza.

Las diversas pruebas de dureza se pueden dividir en tres categorías:

- Dureza elástica,
- Resistencia al corte o abrasión, y
- Resistencia a la indentación.

### DUREZA ELÁSTICA.

Esta prueba es realmente una medida de la resistencia del material, es decir, la energía que puede absorber en el intervalo elástico.

Este tipo de dureza se mide mediante un escleroscopio, que es un dispositivo para medir la altura de rebote de un pequeño martillo con emboquillado de diamante, después de que cae por su propio peso desde una altura definida sobre la superficie de la pieza a prueba. El instrumento tiene por lo general un disco autoindicador tal que la altura de rebote se indica automáticamente. Cuando el martillo es elevado a su posición inicial, tiene cierta cantidad de energía potencial, cuando es liberada, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea la superficie de la pieza a prueba. Alguna energía se convierte en energía cinética hasta que golpea la superficie de la pieza a prueba. Alguna energía se absorbe al formar la impresión, y el resto regresa al martillo al rebotar éste. La altura de rebote se indica por un número sobre una escala arbitraria tal que cuanto mayor sea el rebote, mayor será el número y la pieza a prueba será más dura.



Escleroscopio para mediciones de dureza.

### RESISTENCIA AL CORTE O ABRASIÓN

Prueba de ralladura.- Esta prueba la ideó Friedrich Moshers. La escala consta de diez minerales estándar arreglados siguiendo un orden de incremento de dureza. El talco es el 1, el yeso el 2, etc., hasta 9 para el corindón y el 10 para el diamante. Si un material desconocido es rayado apreciablemente por el 6 y no por el 5, el valor de dureza está entre 5 y 6. La principal desventaja es que la escala de dureza no es uniforme. Cuando la dureza de los minerales es examinada por otro método de prueba de dureza, se encuentra que los valores están muy cercanos entre 1 y 9 y que hay gran diferencia en dureza no cubiertas entre 9 y 10. La escala de Moshers se muestra a continuación:

- 1.- Talco
- 2.- Gipso
- 3.- Calcita
- 4.- Espato flúor
- 5.- Apatita
- 6.- Ortoclasa
- 7.- Cuarzo
- 8.- Topacio
- 9.- Corindón
- 10.- Diamante

Ensayo de Lima.-La pieza de prueba se somete a la acción de corte de una lima de dureza conocida, para determinar si se produce un corte visible. Las pruebas comparativas con una lima dependen del tamaño, forma y dureza de la lima, de la velocidad, presión y ángulo de limado durante la prueba; y de la composición y el tratamiento térmico del material a prueba.

En muchos casos, sobre todo con los aceros para herramientas, cuando el acero se trata térmicamente, será suficientemente duro, tal que si se pasa una lima por la superficie, esta no se cortará. No es raro encontrar especificaciones de tratamiento térmico que digan simplemente " tratar térmicamente hasta que el material tome dureza a prueba de lima". Al pasar una lima por la superficie, se puede examinar por rapidez un gran número de partes tratadas térmicamente para determinar si el tratamiento ha sido satisfactorio.

### RESISTENCIA A LA INDENTACION.

Esta prueba generalmente es realizada imprimiendo en la muestra, la que está en reposo sobre una plataforma rígida, un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplica directamente o por medio de un sistema de palanca. Dependiendo del sistema de prueba, la dureza se expresa por un número inversamente proporcional a la profundidad de la indentación para una carga o marcador especificados o proporcional a una carga media sobre el área mella.

Los métodos comunes para pruebas de dureza por indentación se escriben enseguida.

### ENSAYO DE DUREZA BRINELL.

El probador de dureza Brinell generalmente consta de una prensa hidráulica de operación manual, diseñada para forzar un marcador de bola dentro de la muestra.

El procedimiento estándar requiere que la prueba se haga con una bola de 10 mm de diámetro bajo una carga de 3000 Kg para metales ferrosos y 500 Kg para metales no ferrosos. Para metales ferrosos la bola es presionada contra la muestra de prueba por lo menos 10 segundos; para metales no ferrosos el tiempo es de 30 seg. El diámetro de la impresión es reproducido por medio de un microscopio que contiene una escala ocular, generalmente graduada en décimas de milímetro, que permite estimaciones de hasta casi 0.05mm.

El número de dureza Brinell (HB), es la razón de la carga en Kg sobre mm<sup>2</sup> de la impresión y se calcula mediante la ecuación:

$$HB = \frac{L}{(D/2) (D - D^2 - d^2)}$$

Donde: L = Carga de prueba, Kg  
D = Diámetro de bola, mm  
d = Diámetro de la impresión, mm

Por lo general no se necesita el cálculo, ya que existen tablas para convertir el diámetro de la impresión observada al número de dureza Brinell.

El número de dureza Brinell seguido por el símbolo HB indica condiciones de prueba estándar y se utiliza una bola de 10 mm de diámetro y una carga de 3000 Kg, aplicada por un tiempo de 10 a 15 segundos. Para otras condiciones, el símbolo HB complementa a los números que indican las condiciones de prueba en el siguiente orden: diámetro de la bola, carga y duración de la carga; por ejemplo: 75 HB 10/500/30, estos indican una dureza Brinell de 75, medida con una bola de 10mm de diámetro y una carga de 500Kg aplicada por 30 segundos

Si el metal prueba es más duro, hay tendencia a que el propio marcador de muestra se empiece a deformar y las lecturas no sean exactas. El límite superior de la escala puede aumentarse al usar una bola de carburo de tungsteno en vez de una bola de acero endurecido, si es este caso, es posible llegar a los 650 HB aproximadamente.

### ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL

En esta prueba se utiliza un instrumento de lectura directa bajo el principio de medición diferencial. La prueba se lleva a cabo al levantar una muestra contra el marcador hasta que se ha aplicado una carga menor ya determinada; esto se indica en un disco medidor; luego se aplica una carga mayor a través de un sistema de palanca de carga. Después de que la aguja del marcador llega al

## CAPITULO II

reposo, se retira la carga mayor, y sin retirar la carga menor y en acción, el número de dureza Rockwell es leído en el disco medidor. Como el orden de los números se invierte, una impresión poco profunda en un material duro dará un resultado grande, en tanto que una impresión profunda en un material blando dará un número pequeño.

Existen dos máquinas Rockwell; el probador normal para secciones relativamente gruesas con una carga menor de 10 Kg y probador superficial para secciones delgadas con 3 Kg de carga.

Pueden utilizarse diversos marcadores de muescas y cargas, cada combinación determina una escala Rockwell específica. Los marcadores de muescas incluyen bolas de acero duras de  $\frac{1}{16}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  de pulgada de diámetro y un marcador cónico de diamante de  $120^\circ$ .

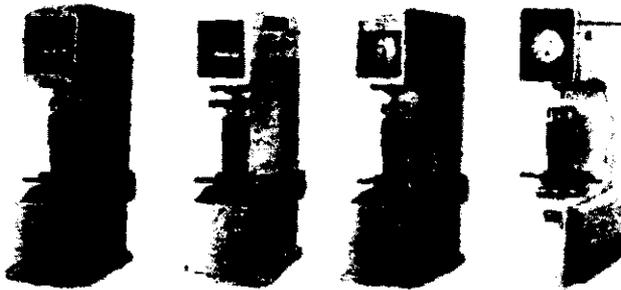
Para el probador normal, las cargas mayores son generalmente de 60, 100 y 150 Kg y de 15, 30 y 45 para el probador superficial.

Las escalas de Rockwell comúnmente usadas son:

B (marcador de bola de  $\frac{1}{16}$  pulgadas y 100 Kg de carga) y C (marcador de diamante y 150 Kg de carga) obtenidas con el probador normal.

Debido a las muchas escalas Rockwell, el número de dureza debe especificarse mediante el símbolo HR seguido de la letra que designa la escala y precedido de los números de dureza; por ejemplo:

82 HRB significa una dureza de Rockwell de 82 medida en la escala B (bola de pulgada y 100 KG de carga).



Aparatos para determinar dureza superficial Rockwell y dureza Rockwell.

### ENSAYO DE DUREZA VICKERS.

En esta prueba, el instrumento utiliza un marcador de diamante en forma piramidal de base cuadrada con un ángulo de  $136^\circ$  entre las caras opuestas. El intervalo de carga se encuentra entre 1 y 120 Kg. Funciona bajo el mismo principio que el probador Brinell, y los números se expresan en términos de carga y área de impresión.

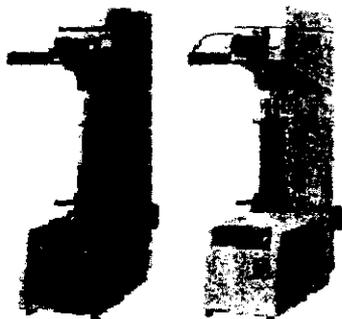
La impresión en la superficie de la muestra es un cuadrado. La longitud de la diagonal del cuadrado es medida por medio de un microscopio equipado con un micrómetro ocular que contiene fillos móviles. La distancia entre los fillos se indica en un contador calibrado en milésimas de milímetro. Por lo general existen tablas para realizar la conversión de la medida de la diagonal al número de dureza piramidal Vickers (HV) o también se puede utilizar la ecuación:

$$HV = \frac{1.854 L}{d^2}$$

Donde: L = carga aplicada, Kg

d = longitud de la diagonal del cuadrado de la impresión, mm

El probador Vickers es útil para medir la dureza de las hojas muy delgadas, así como secciones pesadas.



Durometros Vickers

Los durometros Vickers mostrados en la figura anterior son apropiados para materiales cerámicos, aceros, metales no ferrosos. Es lo más utilizado en la industria en la actualidad.

### ENSAYO DE MICRODUREZA

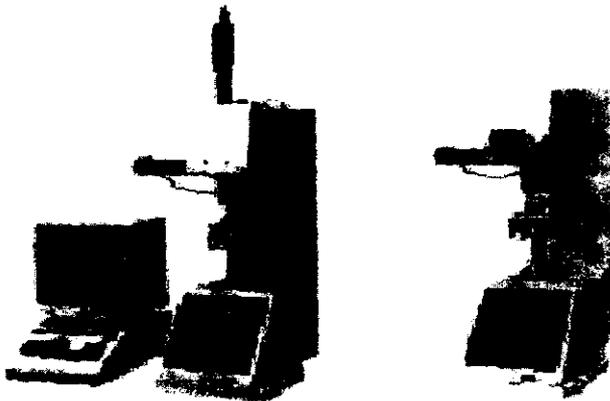
Este término es engañoso porque podría referirse a la prueba de pequeños valores de dureza cuando en realidad se utilizan para impresiones pequeñas. Las cargas de prueba están entre 1 y 1000 g.

Se emplean dos tipos principales de marcadores para la prueba de microdureza: la pirámide de diamante del medidor Vickers de base cuadrada de 136°, y el marcador Knoop de diamante alargado.

El marcador Knoop tiene forma piramidal que produce una impresión en forma de diamante, con diagonales largas y cortas a una razón aproximada de 7:1. La forma piramidal tiene incluidos ángulos de 172° 30' y ángulos transversales de 130°. La profundidad de impresión es de longitud 1/30 de su longitud. Como en la prueba Vickers la diagonal más larga de impresión es medida ópticamente por un micrómetro de rosca. El número de dureza Knoop es el resultado de dividir la carga entre el área de impresión. Como en los anteriores, se cuenta con tablas donde se encuentra la conversión de la longitud de la diagonal a la medida de dureza Knoop respectiva, o bien, se puede utilizar la ecuación:

$$HK = \frac{14,229 L}{d^2}$$

Donde: L = carga aplicada, Kg  
d = longitud de la diagonal, mm



Medidor de microdureza.

Los durómetros representados en la figura son los que actualmente se pueden encontrar en el mercado a costos relativamente bajos, y de fácil manejo.

### 2.2 TRACCIÓN.

Consiste en ejercer una acción o efecto de tirar constantemente un material metálico y registrar el alargamiento en función del esfuerzo realizado

Este ensayo, utiliza una probeta de cierto material, sujeta entre las mordazas de una máquina de ensayo de tracción, y se observa simultáneamente la carga y el alargamiento de una determinada longitud de la misma. Los resultados se suelen representar en un gráfico, en el cual las ordenadas constituyen las fuerzas o cargas y, en las abscisas, se colocan los correspondientes alargamientos. En la figura 2.2.1 se representa un gráfico de esta clase; se puede observar que no aparecen representadas las fuerzas y los alargamientos unitarios o deformaciones, ya que solo se reducen comparar las propiedades de una muestra con las de otra si se reducen los valores observados a unos puntos de referencia comunes. La gráfica de la figura 2.2.1, se denomina diagrama de esfuerzo-deformación, cuyo nombre deriva de las magnitudes que aparecen en sus ejes de coordenadas.

En el diagrama se observa que, desde el origen o hasta un punto llamado límite de proporcionalidad, el diagrama esfuerzo-deformación es un segmento rectilíneo. Esta proporcionalidad no se extiende a todo el diagrama, sino que termina en el límite de proporcionalidad y más allá de este punto, el esfuerzo deja de ser proporcional a la deformación.

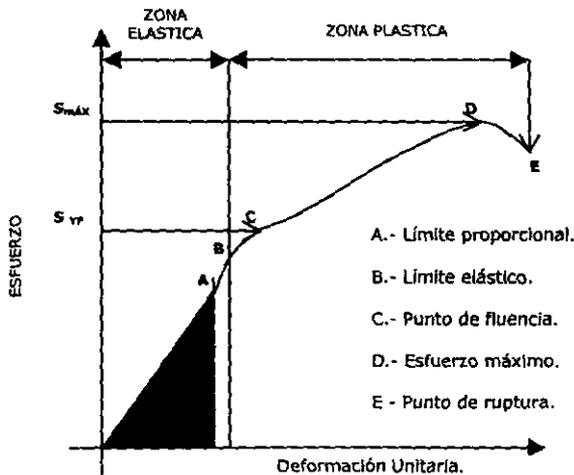


Diagrama de Esfuerzo - Deformación

Otros conceptos del diagrama esfuerzo – deformación son los siguientes:

- A.- El límite de proporcionalidad.- En este intervalo, el esfuerzo y la deformación son proporcionales entre sí, de manera que cualquier incremento en esfuerzo resultará de un aumento proporcional a la deformación.
- B.- Límite elástico.- Puede definirse como el esfuerzo mínimo al que ocurre la primera deformación permanente.
- C.- El esfuerzo en el punto C de la figura se conoce como punto de fluencia o cedencia. Este fenómeno ocurre sólo en ciertos materiales dúctiles. Conforme la carga en la pieza a prueba aumenta más allá del límite elástico, se alcanza un esfuerzo al cual el material continua deformándose sin que halla un incremento de la carga.
- D.- Conforme aumenta la carga aplicada sobre la pieza a prueba, el esfuerzo y la deformación se incrementan, como lo indica la porción de la curva CD para un material dúctil, hasta que se alcanza el esfuerzo máximo en el punto D; por tanto, la resistencia límite o la resistencia a la tensión es el esfuerzo máximo desarrollado por el material, basado en el área transversal original. Un material frágil se rompe cuando es llevado hasta el esfuerzo máximo, en tanto que un material dúctil continuará alargándose.
- E.- El punto de ruptura. Próxima a tener lugar la falla, el material se alarga muy rápidamente y al mismo tiempo se estrecha en una parte muy localizada de la probeta, de forma que la carga en el instante de la ruptura, se distribuye realmente sobre una sección mucho más pequeña. Si la carga en el momento de la falla se divide por el área medida después de la ruptura, se obtiene el valor real de la tensión en el punto de ruptura, pero aunque es bastante mayor que el esfuerzo de ruptura, se sigue tomando ésta, en la mayoría de los casos como tensión máxima del material.

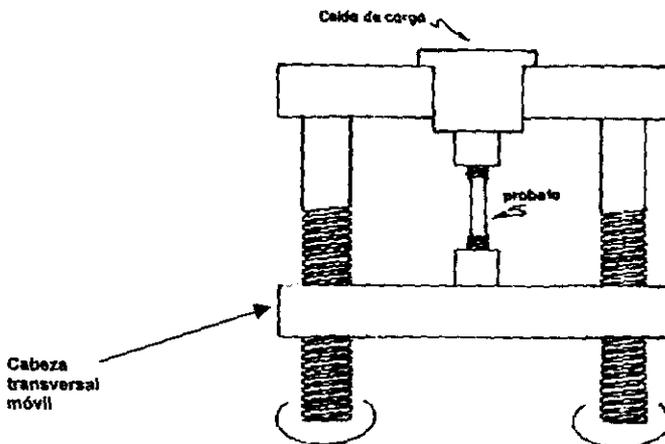


Figura 2.2.2 (a) MAQUINA TÍPICA PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Una máquina típica para el ensayo de resistencia a la tracción figura 2.2.2 (a), consiste en una base fija donde se coloca la pieza de ensayo y un cabezal móvil que es forzado hacia arriba por un ariete hidráulico. El líquido (normalmente un aceite liviano) es bombeado simultáneamente al ariete y a un manómetro, mientras que una válvula de "by-pass" permite ajustar la velocidad de aumento de la presión debajo del ariete a un valor determinado. El trozo por ensayar se prepara de acuerdo a ciertas especificaciones estandarizadas. En la figura 2.2.2 (b), se muestra la sección de ensayo común trabajada en forma circular, pero se dispone de varias otras modificaciones.

Además, el ensayo de resistencia a la tracción dará la carga de ruptura, o el esfuerzo máximo al que el material se rompe. También se obtiene un valor para la deformación, o el porcentaje de incremento de la longitud que se produce antes de que se rompa el metal. Como antes, es necesario especificar las condiciones en las que se mide la deformación, pero el ensayo tiene valor para medir la ductilidad o facilidad de fabricar un equipo a partir de planchas, por compresión o doblado.

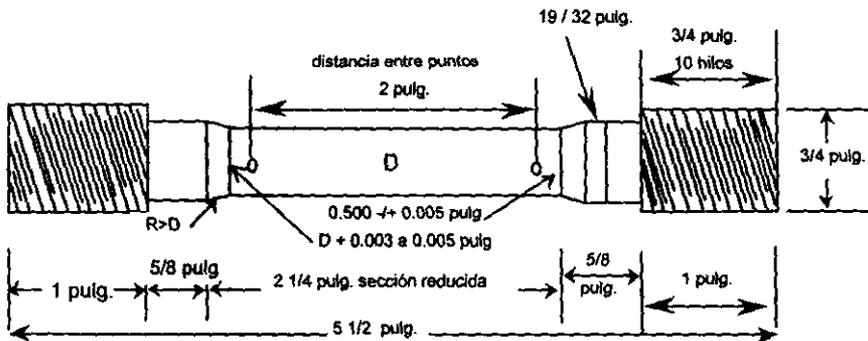


Figura 2.2.2 (b) PROBETA DE ENSAYO A LA TRACCIÓN

### 2.3 IMPACTO.

Es el punto de choque que nos indica la tenacidad relativa de los materiales, para comparar la fragilidad y la sensibilidad a la ralladura de los materiales. La prueba consiste en la determinación de la energía absorbida en una fractura de una muestra dentada por un cierto golpe. Las pruebas están basadas sobre la consideración de que la resistencia a la carga y los efectos de ranura, dependen de la aptitud de los materiales para compensar las tensiones peligrosamente concentradas. La muestra es ranurada para producir una concentración intensa de tensión, como una condición de prueba. La fragilidad relativa, variará con un número de factores importantes, entre los cuales se encuentran la temperatura, la velocidad de la tensión aplicada y la proporción, la cual involucra las dimensiones de la pieza y de la ranura. En general, estos factores están interrelacionados en

sus efectos. Bajas temperaturas o lo agudo de la ranura, contribuyen a ser pruebas más severas para medir la capacidad de los materiales para resistir una carga. Como los materiales responden en diferente grado a estos factores, es deseable comparar los materiales bajo 2 ó más condiciones diferentes a los requerimientos de servicios.

Por lo general, para las pruebas de impacto se utilizan muestras tipo muesca. Dos tipos de muesca de tipo general se utilizan en pruebas de flexión por impacto: la muesca ojo de cerradura y la muesca en "V". Asimismo, se utilizan dos muestras, la Charpy y la Izod, como se ve en la Figura (2.3.1).

La muestra Charpy se coloca en un tornillo de banco, de manera semejante a una viga sencilla soportada en ambos extremos, en tanto que la muestra Izod se coloca en el tornillo de banco, de modo que un extremo quede libre y sea, por tanto, una viga volada.

La máquina de impacto ordinaria tiene un péndulo oscilante de peso fijo, que es elevado a una altura estándar, dependiendo del tipo de muestra que se pretende probar. A esa altura con referencia al tornillo de banco, el péndulo se libera, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea a la muestra. La muestra Charpy se golpeará atrás de la muesca en "V", en tanto que la muestra Izod, colocada con la muesca "V" de cara al péndulo, se golpeará arriba de la muesca en "V" en cualquier caso, una parte de la energía del péndulo se utilizará para romper la muestra, provocando que el péndulo se eleve en el lado opuesto de la máquina a una altura menor que aquella con que inició su movimiento desde este mismo lado de la máquina. El peso del péndulo multiplicado por la diferencia de alturas indicará la energía, generalmente en libras-pie, absorbida por la muestra, o sea, la resistencia al impacto de la muestra con muesca.

Es obvio que la prueba de impacto da un comportamiento en función de una muesca en particular; sin embargo, los resultados son útiles para propósitos de comparación.

El objeto de una prueba de impacto es determinar, si una máquina o estructura de materiales particulares es dañada por una falla de fragilidad bajo las condiciones de servicio. La prueba de impacto no debe ser vista como una simulación de un choque en servicio y no ser limita a los materiales que están sujetos al impacto en servicio.

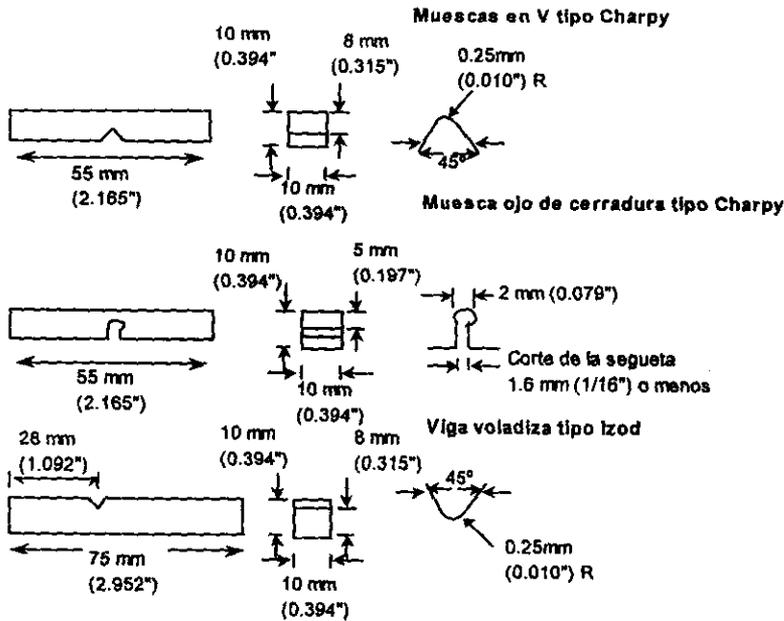


Figura 2.3.1

## 2.4. FATIGA.

Fenómeno que origina la fractura bajo esfuerzos repetidos o fluctuantes, con un valor máximo menor que la resistencia tensil del material. Las fracturas por fatiga son progresivas, empezando como fisuras diminutas que crecen bajo la acción del esfuerzo fluctuante.

En muchos tipos de aplicaciones de servicios, se requiere que las piezas resistan tensiones cilíndricas, moviendo partes de maquinaria, como son flechas, varillas de conexión, engranes y contactos. Las fallas pueden ocurrir en una máquina, en partes donde se aplican tensiones repetidas o bien, tensiones bajo las cuales la pieza es capaz de resistir una aplicación estática de una carga. Las fallas que ocurren bajo tensiones cilíndricas, son llamadas fallas de fatiga. Muchos materiales muestran un valor de fatiga, o un límite de resistencia o bien, una tensión límite bajo la cual, puede resistir un número infinito de tensiones cíclicas. Se ha estimado que un 80% de las fallas en una máquina, son resultado directo de la acción de la fatiga.

La falla de fatiga, frecuentemente cuando se forma una rotura en alguna parte de una superficie, después de un cierto número de cargas, ésta se propaga gradualmente a través de la pieza. La sección remanente, viene a ser tan pequeña, que no puede sostener una carga más grande y la falla sigue aumentando. Una fractura de fatiga, por lo general, aparece débilmente en un material que es demasiado dúctil y que se sujeta en una prueba de tensión.

Por otra parte, un sólido puede quebrarse por aplicación repetida de un ciclo de cargas tensionantes, aún cuando la magnitud de cada carga individual, esté muy

por debajo del límite de elasticidad del material. Las condiciones más severas se presentan, cuando se efectúa una variación desde cargas de torsión a cargas de compresión, pero un buen material de construcción soportará indefinidamente cargas vibrantes de este tipo, siempre que las tensiones individuales no excedan de un cierto valor crítico conocido como "límite de fatiga".

Los ensayos de fatiga, son del tipo dinámico, y determinan el comportamiento relativo de los materiales cuando se les somete a cargas repetidas o fluctuantes. Procura simular las concisiones de esfuerzo desarrolladas en las partes de una máquina por la vibración que producen las cargas cíclicas. La magnitud del esfuerzo puede establecerse con la máquina, y el tipo de esfuerzo (tensión, compresión, doblamiento o torsión) lo determinan la máquina y el tipo de muestra probada.

El esfuerzo al que se somete la muestra durante la prueba varía continuamente entre dos valores, de los cuales el máximo suele ser menor que el de la resistencia del material. Los ciclos de esfuerzo se aplican hasta que se alcanza la falla de la muestra o un número de ciclos límite.

Entonces, tales resultados se grafican en una escala semilogarítmica con el esfuerzo "S" como ordenada y el número de ciclos "N", que produjeron la falla, como abscisa. El "límite de fatiga" de cualquier material está definido como el esfuerzo límite por abajo del cual el material soportará un número indefinido de ciclos de esfuerzo sin fracturarse. En este punto la curva "S"- "N", resulta paralela a la abscisa. Esto se puede observar en la figura 2.4.1.

Las pruebas de fatiga se utilizan ampliamente para estudiar el comportamiento de los materiales, no solo para observarlos bajo distintos tipos e intensidades de cargas fluctuantes, sino también para determinar el efecto de la corrosión, las condiciones de superficie, la temperatura, el tamaño y la concentración de esfuerzos.

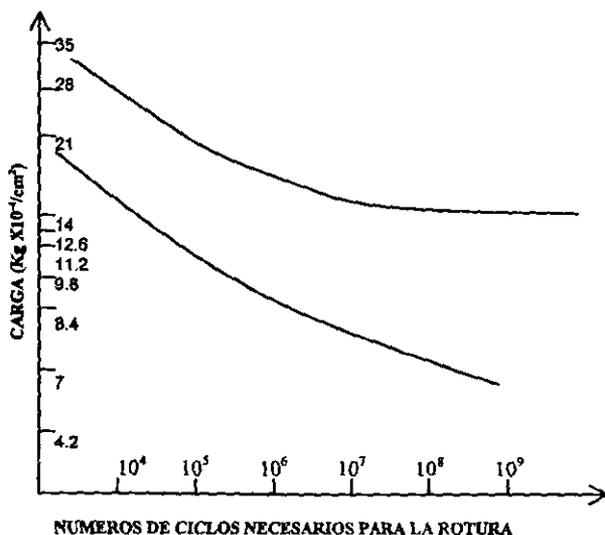


FIGURA 2.4.1.

### **2.5.- PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS**

Las pruebas no destructivas se caracterizan por la inspección de un material sin perjudicarlo en su estructura y son sumamente útiles tanto para detectar defectos en las piezas antes de ser utilizadas o las originadas por el empleo.

Existen 5 elementos básicos en cualquier prueba no destructiva.

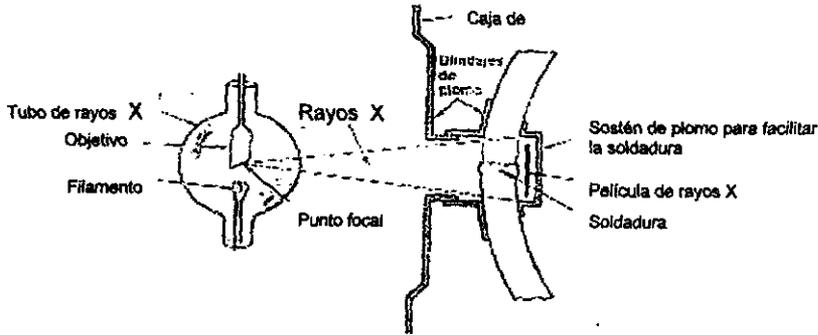
- 1).- Fuente. Es la que proporciona el medio de sondeo con el cual se inspeccionará la pieza o el material.
- 2).- Modificación. El medio de sondeo sufrirá una modificación como resultado de la uniformidad dentro del objeto sometido a prueba.
- 3).- Detección. Un instrumento que se encarga de mostrar los cambios en el medio de sondeo.
- 4).- Indicación. Es la que se encarga de guiar o registrar las señales del detector.
- 5).- Interpretación. Un método de explicación de las indicaciones.

#### **2.5.1 RADIOGRAFÍA DE METALES**

Este tipo de prueba no destructiva se puede realizar por medio de rayos X o rayos gamma, los cuales son rayos electromagnéticos de longitud de onda corta capaces de atravesar espesores de metal relativamente grandes. Los rayos gamma se pueden obtener ya sea de un material radioactivo natural (radio) o de un isótopo radioactivo (cobalto 60). La radiación gamma es más penetrante que los rayos X, pero su sensibilidad inferior limita su aplicación.

En general cuando la materia es bombardeada por un haz de electrones que se mueven rápidamente y que al detenerse de repente por la materia parte de su energía se convierte en energía de radiación o rayos X.

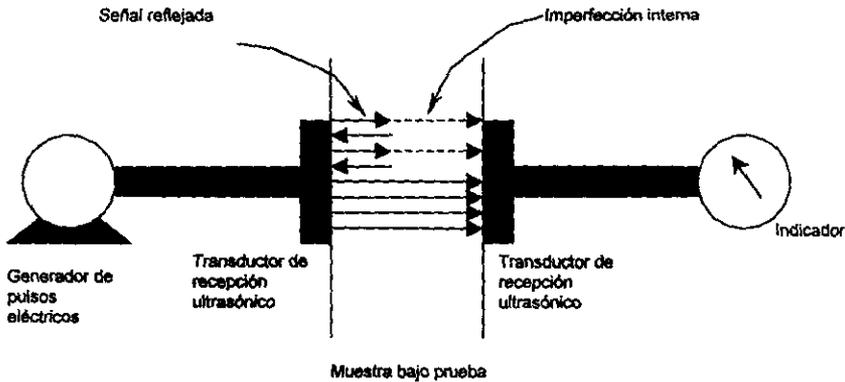
Se utiliza para medir variaciones en espesor de metales o capas delgadas, para detectar costuras o vetas longitudinales o fisuras en tubos, para determinar tratamientos térmicos y composiciones metálicas para su clasificación. Generalmente se aplica a tuberías, barras, parte de geometría uniforme, placas o materiales planos o láminas y alambre. Como ventajas se tienen una alta velocidad y ningún contacto automático, y como limitaciones, falsas indicaciones, sólo es útil para materiales conductores además de que tiene una penetración limitada.



Representación esquemática del uso de los rayos X para examinar una placa soldada

### 2.5.2 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA.

Consiste en utilizar ondas de sonido fuera del intervalo auditivo, con una frecuencia de 1 a 5 millones de Hz (ciclos por segundo). El método ultrasónico es una prueba confiable y rápida que emplea ondas sonoras de alta frecuencia producidas electrónicamente que penetrarán metales, líquidos y muchos otros materiales a velocidades de varios miles de pies por segundo. Las ondas ultrasónicas generalmente las producen materiales piezoeléctricos, los cuales sufren un cambio en su dimensión física cuando se someten a un campo eléctrico. Esta conversión de energía eléctrica a energía mecánica se conoce como efecto piezoeléctrico. Si se aplica un campo eléctrico alterno a un cristal piezoeléctrico, el cristal se expandirá durante la primera mitad del ciclo y se contraerá cuando el campo eléctrico se invierta. Al variar la frecuencia del campo eléctrico alterno, se puede variar la frecuencia de la vibración mecánica (onda sonora) producida en el cristal. Un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía a otra. Las vibraciones se reciben y las convierte en una señal eléctrica que se puede amplificar y observar en el tubo de rayos catódicos y de un osciloscopio, o en un medidor de algún otro indicador. Si la onda ultrasónica viaja a través de la muestra sin encontrar ninguna imperfección, la señal recibida será relativamente grande. Si hay imperfección en la trayectoria de la onda ultrasónica, parte de la energía se reflejará y la señal que recibirá el transductor de recepción se reducirá.



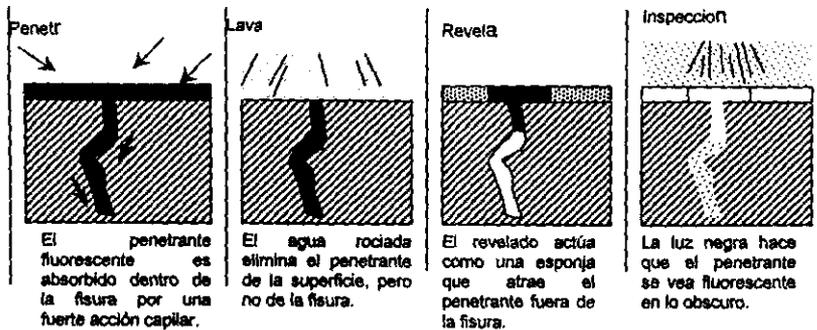
Método de inspección ultrasónica, el de transmisión y el de eco - pulsos

### 2.5.3 INSPECCIÓN POR PENETRACION FLUORESCENTE DE UN TRAZADO.

Método de ensayo que determina la existencia y extensión de discontinuidades que se encuentran abiertas a la superficie en la pieza que se inspecciona. Las indicaciones se hacen visibles a través del empleo de un tinte o agente químico fluorescente en el líquido empleado como medio de dispersión. Sirve para detectar fisuras superficiales, porosidad traslape, defectos por falla de calor, falsas uniones, fatiga y fisuras por esmerilado. Es adecuado su uso para todos los metales, vidrio y cerámicos, piezas coladas forjadas, partes maquinadas y herramientas de corte.

Por lo general las partes que se van a probar se tratan primero con un trazador o colorante. Estos colorantes o trazadores son líquidos ligeros, de apariencia aceitosa que se aplican a la prueba por inmersión, rociado o con una brocha. El trazador es absorbido dentro de las fisuras y otras discontinuidades por una acción capilar, de esta forma el trazador permanece en todas las discontinuidades que afloran a la superficie. Posteriormente la pieza es tratada con polvo seco o una suspensión de polvo en un líquido. Este polvo o revelador actúa como una esponja que atrae al trazador fuera del defecto y aumenta el tamaño del área de indicación. Una combinación muy común es utilizar un revelador blanco y un colorante rojo.

El método de inspección por medio de un trazador fluorescente es exactamente igual que los descritos anteriormente, excepto que el líquido penetrante contiene un material que emite luz visible cuando se expone una radiación ultravioleta.



Pasos principales en el método de inspección por penetrante fluorescente.

#### 2.5.4 INSPECCIÓN POR PARTICULAS MAGNÉTICAS.

En este método se induce un campo magnético dentro de la parte que se inspeccionará y al aplicar un revestimiento de partículas magnéticas, las fisuras de la superficie se hacen visibles, formando nuevos polos magnéticos.

Se utiliza para detectar imperfecciones superficiales demasiado finas para apreciarse a simple vista no profundas, fisura, porosidad, inclusiones no metálicas y defectos de soldadura. Sólo se aplica para materiales ferromagnéticos, a partes de cualquier tamaño, forma, composición o tratamiento térmico. Como ventajas se tiene que es económico, fácil de efectuar, portátil, rápido para prueba durante la producción industrial. Como limitaciones, el material debe ser magnético, se requiere desmagnetización después de la prueba y las partes deben limpiarse antes de una nueva determinación.

La inspección por partículas magnéticas se puede realizar en diversas formas:

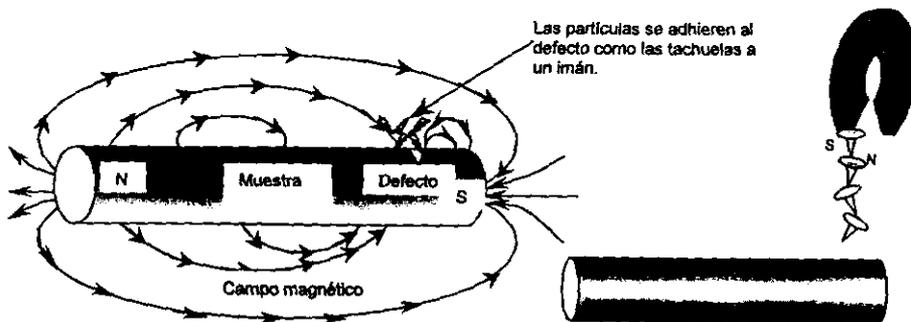
A) Método residual. En este método la pieza que se va a inspeccionar puede magnetizarse y posteriormente cubrirse con finas partículas magnéticas (polvo de hierro).

B) Método continuo. La magnetización y aplicación de las partículas puede hacerse simultáneamente.

C) Método húmedo. Las partículas magnéticas pueden mantenerse en suspensión en un líquido que se vierte sobre la pieza, o la pieza puede sumergirse en la suspensión.

D) Método seco. En algunas aplicaciones las partículas, en forma de polvo fino, se esparcen sobre la superficie de la pieza de trabajo.

E) Método Magnaglo. Ideado por la Magnaflux Corporation, es una variante de la prueba Magnaflux. La suspensión vertida sobre la pieza de trabajo, magnetizada contiene partículas magnéticas fluorescentes, entonces la pieza de trabajo es observada bajo luz negra, con lo cual las indicaciones destacan más claramente.



Principio de la prueba de Magnaflux.

Al inducirse un campo magnético dentro de la parte que se inspeccionará y aplicar un revestimiento de partículas magnéticas, las figuras de la superficie se hacen visibles y las figuras, en efecto, forman nuevos polos magnéticos.

### 2.5.5 INSPECCIÓN POR CORRIENTES PARASITAS.

Sirven para medir variaciones en espesor de pared de metales ó capas delgadas, para detectar costuras, vetas longitudinales ó fisuras en tubos, así como para determinar tratamientos térmicos y composiciones metálicas para su clasificación. Tienen alta velocidad de empleo y ningún contacto con la pieza en estudio además de ser un procedimiento totalmente automático.

## **CAPITULO III**

## CORROSIÓN

### 3.1 GENERALIDADES.

En la selección de los materiales de construcción dentro de la ingeniería química, es de vital importancia considerar las características del sistema, poniendo especial atención a factores extraños que pueden influir en la corrosión. Así como los materiales con que se construirá el sistema; por lo que es necesario tener conocimientos sobre las características y el comportamiento general de los materiales cuando se exponen a determinados ambientes, que muchas veces reaccionan con ellos para formar productos indeseables debilitando al material.

La corrosión es un fenómeno destructivo muy complejo que se presenta bajo diferentes formas y efectos, los cuales originan: pérdidas económicas por costos excesivos en el mantenimiento de plantas y equipos; por fugas de productos; por disminución de la capacidad de producción debido a paradas por reparación o reposición de equipo.

La corrosión puede definirse como la destrucción gradual de los materiales de construcción originada por acciones químicas, electroquímicas, o biológicas al interactuar con el medio ambiente.

La corrosión es la reacción química entre el material de construcción de un equipo y los productos con los que está en contacto. Como tal, la reacción seguirá reglas generales, con velocidades de ataque que varían de acuerdo con la temperatura y la concentración en las zonas de reacción.

Todas las reacciones de corrosión son del tipo de superficie heterogénea, por lo menos en sus etapas iniciales. En el caso de un metal que pasa a solución en un solvente ionizante, los átomos superficiales se desprenden de la estructura sólida y forman iones positivos, mientras que la superficie del metal adquiere, con respecto a la solución, la correspondiente carga negativa. Si fuera posible preparar una superficie metálica perfectamente homogénea, totalmente en contacto con el solvente, se presume que la reacción se detendría debido a estas fuerzas eléctricas opuestas. Pero la realidad universal es que las superficies no son homogéneas, y en estas circunstancias habrá algunas áreas más fuertemente cargadas que otras. La corriente fluirá a través del metal y de la solución, y las cargas negativas reaccionarán con los iones hidrógeno para formar átomos libres. Cuando éstos pueden descargarse libremente, la reacción progresa, disolviéndose el metal en un punto y desprendiéndose hidrógeno en otro.

Por definición se sabe que un fenómeno electroquímico no es otra cosa que el cambio de energía química en energía eléctrica, producida por medio de una transferencia de electrones en celdas o pilas electroquímicas.

### CAPITULO III

Así, pues la corrosión metálica está ligada con el flujo de corrientes eléctricas las cuales se producen en celdas o pilas electroquímicas que se forman en el metal.

Los componentes básicos de las celdas o pilas electroquímicas son:

- 1.- Un líquido conductor llamado electrolito que permite el paso de la corriente eléctrica dentro de la pila.
- 2.- Dos superficies conductoras las cuales tienen la misión de introducir y recibir los electrones en la disolución, estas superficies son el ánodo (-) y el cátodo (+).
- 3.- Un conductor externo entre el ánodo y el cátodo que cierra el circuito.

### **3.2 TIPOS DE CORROSIÓN.**

Con frecuencia se piensa que la corrosión se reduce a los fenómenos de formación de herrumbre o al empañado o pérdida de brillo que sufren los metales. La corrosión también actúa de otras maneras que pueden conducir, por ejemplo a que un metal falle por agrietamiento o a la pérdida de su resistencia o ductilidad. Los principales tipos de corrosión son clasificados usualmente en algunos de éstos factores:

- 1) La naturaleza del corroyente.- La corrosión se clasifica en "húmeda y seca"; la humedad es necesaria para la formación de corrosión y usualmente en la corrosión en seco se involucran reacciones con gas a elevadas temperaturas.
- 2) Los mecanismos de corrosión.- Estos involucran procesos electroquímicos o directamente reacciones químicas.
- 3) La apariencia del metal corroyente.- La corrosión es uniforme si el metal se corroe a una misma velocidad sobre toda su superficie; o es localizada; en la cual sólo pequeñas áreas son afectadas.

La clasificación por apariencia (uniforme o localizada) es lo más útil, pero para hacer esto más completo, se puede hacer la distinción entre corrosión macroscópica localizada y ataque local microscópico. En ésta última, la cantidad de metal disuelto es mínima y es considerada la más peligrosa ya que el problema se presenta antes de que sea observable a simple vista. También en el ataque microscópico raramente la corrosión se extiende más allá de la estructura del metal provocando su debilitamiento. Esta se distingue de algunas formas microscópicas, tal como la picadura en la cual, aun cuando ella pueda iniciar en una estructura defectuosa, también puede crecer la corrosión en un materia bueno. En la Tabla I se muestran algunos tipos de corrosión y sus principales características.

Tabla I Diferentes tipos de corrosión

Tipo de corrosión	Características
Ataque Uniforme	Es la corrosión más común. Generalmente se lleva a cabo por reacción química o electroquímica.
Corrosión Galvánica	Es muy común. Esta se basa en la diferencia de potencial entre dos metales. Se ve muy influida por la pasividad y los inhibidores.
Corrosión por grieta	También llamada corrosión de depósito de ataque o célula de concentración de corrosión. Generalmente ocurre en forma galvánica en ausencia de oxígeno.
Corrosión de picadura	Se localiza en forma de ataque galvánico extremo e intenso. Es la más destructiva e insidiosa. Usualmente requiere de un tiempo prolongado de iniciación antes de comenzar. Los causantes de este tipo de corrosión son el cloro y el bromo especialmente en medio ácido.
Corrosión intergranular	Principalmente ataca a los aceros inoxidable.
Lixiviación selectiva	No es muy común. Ataca principalmente al latón, bronce, etc.
Corrosión – erosión	Para que se lleve a cabo necesita tener un fluido en movimiento. No se encuentra en los sistemas en aerosol.
Corrosión por tensión	Esta produce una delgada y muy profunda rendija. El acero y el aluminio son muy resistentes a este tipo de corrosión.

### 3.2.1 CORROSIÓN GALVÁNICA.

Toda corrosión involucra en general la acción galvánica, sin embargo este término se aplica a la corrosión originada por el contacto de dos materiales de diferente potencial a través de una solución conductora. La diferencia del potencial eléctrico actúa como la fuerza impulsora para que circule la corriente a través de esta sustancia originando con ello la corrosión de uno de los metales acoplados.

Los arreglos de los metales acoplados se llaman series galvánicas.

Como regla general, la corrosión galvánica ocurre con mayor probabilidad si los metales están colocados muy separadamente en la serie. El metal más activo se convierte en el ánodo en la celda de corrosión y se corroe a mayor velocidad que el metal más noble, que es el cátodo.

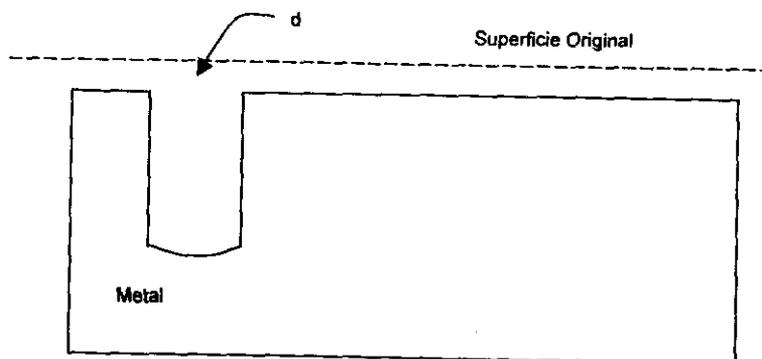
Para tratar de evitar la corrosión galvánica se pueden tomar las siguientes medidas:

- a).- Emplear metales colados juntos o lo más cercano posible en la serie galvánica.

- b).- Evitar el efecto del área desfavorable. Si el metal más activo tiene una menor área comparada con el metal noble, habrá una velocidad muy alta de corrosión.
- c).- Aislar, por ejemplo, interrumpiendo el circuito entre los dos metales y verificando que el contacto no sea restablecido en el servicio.
- d).- Utilizar revestimientos. Es importante mantener una película que cubra la mayor área posible del cátodo así como cubrir completamente el ánodo para evitar áreas desfavorables y al ataque sobre orificios en la película.
- e).- Colocar un tercer metal en contacto con los dos metales en cuestión, señalando que, este material deberá ser más activo que los otros, de modo que se corra en lugar de la estructura.
- f).- Por ejemplo, cuando se atornillan placas juntas, se pueden utilizar arandelas de plástico diseñadas especialmente.

### 3.2.2 CORROSION POR PICADURA

Se denomina así al tipo de corrosión de ataque local que se forma debido a que la velocidad de la corrosión es mayor en una zona que en otras. Si se produce un ataque apreciable confinado a un área fija del metal relativamente pequeña, que actúa como ánodo, las picaduras que resultan se definen como profundas, si el área de ataque es relativamente grande y no tan profundas, las picaduras se consideran superficiales. En ocasiones se expresa la profundidad de las picaduras por el término factor por picadura. Este factor es la relación de la penetración máxima producida en el metal a la penetración media determinada por la pérdida de peso de la muestra, Ver la siguiente figura:



$$\text{Factor de picadura} = p/d$$

Relación entre la picadura más profunda y la penetración media en el metal.

Muchos metales (principalmente acero, aluminio y hierro) cuando están expuestos a líquidos que se mueven a velocidades elevadas sufren una corrosión del tipo localizada y también corrosión por erosión por ejemplo, los enlatados de alimentos a alta presión. La cavitación se produce por la formación y colapso de

### **CAPITULO III**

burbujas de vapor en la superficie dinámica de contacto metal-líquido ocasionando por serie de picaduras que algunas veces se asemejan a un panal de fisuras de diversas profundidades.

#### **3.2.3 LIXIVIACIÓN SELECTIVA**

Por definición la lixiviación es un proceso en el cual se retiran uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido; en este caso, la lixiviación selectiva es un termino que se puede utilizar en general para abarcar varias clasificaciones tales como deszincificación, desaluminación, etc.

La deszincificación es la corrosión de una aleación de latón que contenga zinc en un porcentaje mayor del 15%, en donde el producto principal de la corrosión es cobre metálico, por ejemplo al exponer el latón a agua potable o salada, se desarrollan capas o tapones de material con la coloración del cobre, que son en realidad regiones esponjosas de baja resistencia de cobre de las cuales se ha extraído el zinc. El mecanismo aceptado es que el latón se disuelve ligeramente, a continuación los iones de cobre son desplazados por el zinc que se disuelve, depositándose el cobre.

Para reducir el problema se adicionan pequeñas cantidades de arsénico, antimonio, fósforo o estaño a la aleación; por ejemplo en las aleaciones de 30% de zinc se adicionan 1% estaño y 0.04 de arsénico.

#### **3.2.4 CORROSION GRAFITICA**

Este tipo de corrosión generalmente se asocia con el hierro colado gris, en donde el hierro metálico se solubiliza convirtiéndose en producto de corrosión, quedando intacto el grafito mezclado con productos de corrosión de hierro y otros constituyentes insolubles de hierro colado. Existen dos comportamientos dependiendo de la capa de grafito y productos de corrosión, si esta es impermeable la corrosión disminuirá o cesará, si por el contrario es porosa, la corrosión se incrementará notablemente por el comportamiento galvánico entre el grafito y el hierro. En general los hierros colados de baja aleación así como los hierros colados austeníticos de alta aleación muestran una resistencia superior a la corrosión grafítica. Los aceros al carbón calentados durante periodos prolongados a temperaturas por encima de 850°F pueden sufrir este tipo de corrosión. Los aceros calmados o de baja aleación de cromo y molibdeno ó cromo y níquel se deben de tomar en consideración para servicios a temperatura elevadas.

#### **3.2.5 CORROSIÓN INTERGRANULAR**

Para poder comprenderla se consideran algunas bases de la metalurgia. Cuando un metal fundido es moldeado solidifica en distribuciones al azar de los núcleos. Cada uno de los cuales se desarrolla en un arreglo atómico regular para la formación de granos. Los arreglos atómicos y los espacios entre las capas de los átomos son los mismos en todos los granos de un metal dado. Sin embargo, debido a la nucleación al azar, los planos de los átomos entre los granos próximos no son iguales. Los limites entre los granos son atacados preferentemente. Esto se

relaciona con la segregación de elementos específicos o la formación de un compuesto en los enlaces ( el enlace atómico defectuoso favorece la segregación y la precipitación). La corrosión generalmente ocurre debido a que el corroyente preferentemente ataca la fase en los límites de grano, o en la zona adyacente que origina una perdida del elemento necesario para una resistencia adecuada. En casos severos de corrosión en los límites de grano, estos son desalojados debido al deterioro completo de sus enlaces. En tales casos, la superficie parecerá áspera a simple vista y se palpara como "azucarado" debido a los granos sueltos. Los fenómenos en los límites de grano que causan la corrosión intergranular son sensibles al calor; algunas aleaciones, como los aceros inoxidable austeníticos y algunas aleaciones de cobre y aluminio, cuando se calientan de modo inadecuado son propensas a la corrosión intergranular, debido a la precipitación de compuestos intergranulares.

### **3.2.6 CELDAS POR CONCENTRACIÓN DE OXIGENO**

Aunque aparentemente este tipo de corrosión ocurre sin ningún potencial inicial a diferencia de los efectos galvánicos, es posible que una gota de agua pueda corroer una superficie pulida de hierro o un tanque de acero homogeneizado en la línea de agua. La explicación es que se origina una celda de concentración de oxígeno electrolítica, donde la fuerza impulsora para originar la corrosión se debe a una diferencia en la cantidad de oxígeno en solución de un punto en comparación con otro. La corrosión se incrementa donde la concentración de oxígeno es menor como por ejemplo, en una caja prensa con estopas o bajo empaques. Esta forma de corrosión se produce también bajo sustancias sólidas que se pueden depositar en una superficie metálica y, en esa forma, evitar que le llegue oxígeno.

### **3.2.7 FRACTURA POR HIDRÓGENO**

Se denomina fractura por hidrógeno a la pérdida de ductilidad y a una baja resistencia al impacto originada por la entrada o la absorción de hidrógeno al metal. En algunas condiciones a temperaturas elevadas, la descarburización, la fisuración y el resquebrajamiento de los aceros al carbón se originarán cuando el hidrógeno se combine con el carbono y el acero, para formar metano. Estos efectos se pueden minimizar con calentamiento durante largo tiempo para eliminar el hidrógeno y evitando las parejas que lo producen, así como las aleaciones que forman carburos estables, como las de bajo contenido de cromo proporcionan una solución para esta forma de ataque.

### **3.2.8 AGRIETAMIENTO POR CORROSION. BAJO ESFUERZO**

Ocurre durante la exposición de un metal o aleación tanto a un esfuerzo sostenido de tensión menor al límite elástico a un medio ambiente considerado poco corrosivo y conduce a falla en mucho menor tiempo del que resultaría si las dos condiciones se presentan por separado.

El proceso se caracteriza porque el material permanece virtualmente sin atacar en toda su superficie mientras se propagan pequeñas y numerosas grietas ramificadas las cuales pueden seguir una trayectoria transgranular o intergranular. Los esfuerzos de tracción se originan en las etapas de manufactura (fusión,

### CAPITULO III

tratamientos térmicos, soldadura, etc.) La acción corrosiva tiene como agentes a ciertas substancias para un material específico y no sigue un patrón general. En la siguiente tabla aparecen algunas de las combinaciones metal medio ambiente donde se ha encontrado este mecanismo de falla.

Material	Ambiente
Aleaciones de aluminio	Solución de NaCl-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Soluciones de NaCl
Aceros comunes	Agua de mar, aire, vapor de agua. Soluciones de NaOH Soluciones de NaOH-Na <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub> Soluciones de H <sub>2</sub> S Soluciones de HCN agua de mar
Aceros inoxidables	Mezclas de ácidos (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -HNO <sub>3</sub> ) Soluciones ácidas de cloruros tales como MgCl <sub>2</sub> y BaCl <sub>2</sub> Soluciones de NaCl- H <sub>2</sub> S Agua de mar H <sub>2</sub> S Soluciones de NaCl-H <sub>2</sub> O
Aleaciones de titanio	Vapor condensado de agua clorada Acido nítrico, metanol-HCl, agua de mar, N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>

### 3.3 ENSAYOS DE CORROSIÓN

Es indudable la importancia de los ensayos de la corrosión ya que sobre la base de ellos es posible llevar el control de la corrosión en la planta (equipos, tuberías, etc.); evaluar los materiales y los efectos del medio ambiente para futuras aplicaciones; probar la calidad de un material de comportamiento conocido; así como estudiar el mecanismo de corrosión.

Aunque no existe un modo estándar ni preferido para efectuar una prueba de la corrosión; el método se debe escoger para que se ajuste a la finalidad de la prueba. Los tipos principales de pruebas son:

- 1.- La experiencia operacional real con equipos de plantas a escala completa, expuestos al medio corrosivo.
- 2.- Experiencias con equipos de plantas en pequeña escala, ya sea en condiciones comerciales o de planta piloto.
- 3.- Pruebas de muestras sobre el terreno que incluyen muestras de acero, sondas de resistencia eléctrica expuestas al medio de corrosión de la planta o muestra expuesta a la atmósfera, a tierras o a agua dulces, salubres o saladas.
- 4.- Pruebas de laboratorio con muestras expuestas a líquidos de plantas reales o ambientales simulados.

### **3.3.1 CORROSION POR TENSION.**

Es necesario combinar los efectos mecánicos y químicos de los materiales para tener en cuenta la resistencia a la corrosión por tensión.

Aunque este ensayo mostrará cualquier tendencia del metal a fallar en condiciones corrosivas y bajo cargas, solo es aplicable a los alambres bastante finos, y no a secciones más grandes de una forma determinada. Para un ensayo sobre el efecto de mayores cargas se puede doblar en frío una muestra hasta darle una forma permanente.

### **3.3.2 CORROSION POR FATIGA.**

Las picaduras causadas por corrosión producen una concentración del esfuerzo en la superficie, las cuales se propagan fácilmente por una grieta bajo un esfuerzo cíclico; de ahí su nombre.

## **CAPITULO IV**

## DIAGRAMAS DE FASES

### 4.0 DIAGRAMAS DE FASE.

Como las propiedades de un material dependen ampliamente de tipo, número, cantidad y forma de las fases presentes, y pueden cambiarse alterando estas cantidades, es esencial conocer: a) las condiciones bajo las cuales existen estas fases y b) las condiciones bajo las cuales ocurrirá un cambio en la fase; y la mejor manera de registrar los datos es por medio de *diagramas de fase*, también conocidos como *diagramas de equilibrio o constitucionales*.

Los diagramas de fase son una representación gráfica de los límites de temperatura y composición de campos de fase en un sistema de aleación como realmente existen bajo las condiciones de específicas de calentamiento o enfriamiento. Idealmente, el diagrama de fases deberá mostrar las relaciones entre las fases bajo condiciones de equilibrio, o sea, bajo condiciones en las cuales no habrá cambio con el tiempo.

### 4.1 DIAGRAMAS BINARIOS

El estudio de los cambios estructurales que ocurren bajo condiciones de equilibrio (enfriamiento lento), son tratamientos útiles para ablandar un material para su maquinado o conformando porque los tratamientos en condiciones fuera de equilibrio se basan generalmente en el control o supresión de las reacciones de equilibrio.

En las aleaciones de una sola fase, todos los gramos de metal tienen la misma estructura cristalina, el mismo análisis y las mismas propiedades. La mayoría de los materiales metálicos son aleaciones polifásicas ya que presentan dos o más fases.

Una fase es una región homogénea y físicamente diferente de materia; podemos demostrar que las propiedades de las fases son distintas por medio de un ensayo de microdureza.

El conocimiento de los diagramas de fases es útil para entender y controlar las estructuras polifásicas. El diagrama de fases es simplemente, un mapa que muestra cual estructura o fase está presente a medida que se varían la temperatura y la composición general de la aleación.

### 4.2 CONSTRUCCIÓN DE DIAGRAMA DE FASE

Como un ejemplo se mostrara la microestructura de una aleación de aluminio-silicio, hay dos fases principales distintas.

Construyamos el diagrama basándonos en observaciones directas de varios experimentos. Al calentar aluminio puro en un crisol, encontramos que se funde

#### CAPITULO IV.

súbitamente a 660°C. Igualmente, al enfriarse, la cristalización del líquido ocurre a la misma temperatura constante.

Al volver a fundir el aluminio se añade 5% de silicio al líquido. El silicio se difunde de la superficie del sólido hacia el líquido. Después de haber disuelto el silicio, enfriamos la función. Se encuentran dos diferencias importantes entre la solidificación de la aleación y la del aluminio puro.

- 1.- La aleación comienza a solidificar o a cristalizar a una temperatura más baja (626°C) que la del aluminio puro(660°C).
- 2.- La aleación tiene una consistencia pastosa (líquido más sólido) en un intervalo de temperatura en lugar de solidificar a una temperatura constante. Se precipita más sólido del líquido hasta que la aleación se solidifica finalmente a 557°C. El mismo tipo de comportamiento con el 10% de silicio pero el comienzo de la solidificación se prolonga hasta los 593°C.

Teniendo datos suficientes, la construcción del diagrama de fases aluminio-silicio, Fig. 4.1 es posible. Se coloca el porcentaje en peso de silicio a lo largo del eje x y la temperatura (°C) a lo largo del eje y y hacemos una gráfica con los puntos que se han obtenido.

Encima de la línea AB, la fusión es totalmente líquida y AB se denomina la línea de *liquidus*. Debajo de DE la fusión es totalmente sólida y DE se denomina *sólidus*. Entre AB y DE, se denomina la región líquido más sólido (L +  $\alpha$ ).

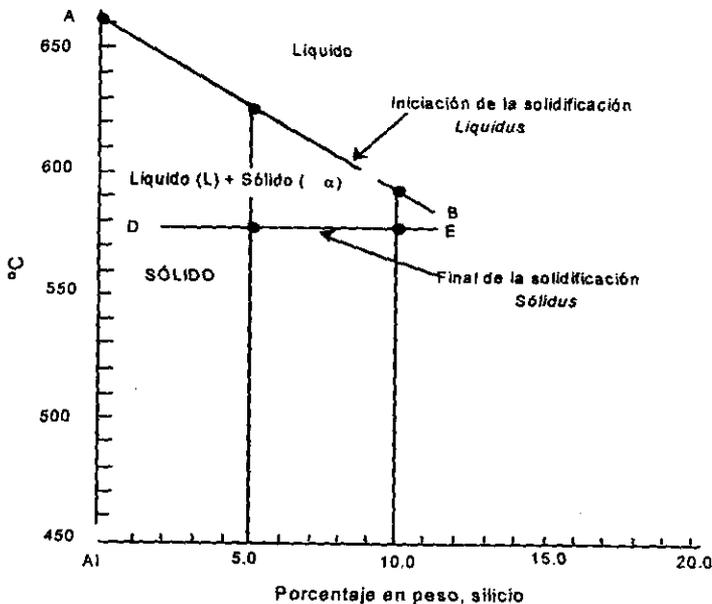


Figura 4.1 Porción del diagrama de fases aluminio - silicio

**CAPITULO IV.**

En la Fig. 4.2 este diagrama contiene varias líneas nuevas; a medida que aumentamos que aumentamos el porcentaje de silicio, la temperatura del *liquidus* cae hasta que alcanzamos un 12.6% de silicio, luego la temperatura sube. Este patrón es bastante común en las aleaciones y la composición en el punto mínimo de solidificación tiene un nombre especial, *eutéctico (E)*, que quiere decir "de bajo punto de fusión". En la práctica significa tanto la composición en el punto mínimo de solidificación como la temperatura a la cual solidifica el líquido de composición eutéctica. El silicio tiene un punto de fusión dos veces mayor que la del aluminio, al ser añadido se disminuye el intervalo de fusión del aluminio hasta que la aleación contiene 12.6%. Las fases que se encuentran a la derecha del punto eutéctico y por encima de la línea de solidus son  $\beta + L$  en lugar de  $\alpha + L$ . Si se enfría una aleación con 16% de silicio, la primera fase en cristalizarse es  $\beta$  (cristales de silicio casi puro). Únicamente después de cruzar la línea de solidus a 557°C se comienzan a formar cristales  $\alpha$ .

La línea superior del diagrama proporciona una guía para establecer la temperatura a la cual se debe colar. Para cualquier concentración de silicio sencillamente se añade 110°C a la línea de liquidus para obtener la temperatura requerida. La línea de solidus da una guía para determinar la máxima temperatura de calentamiento.

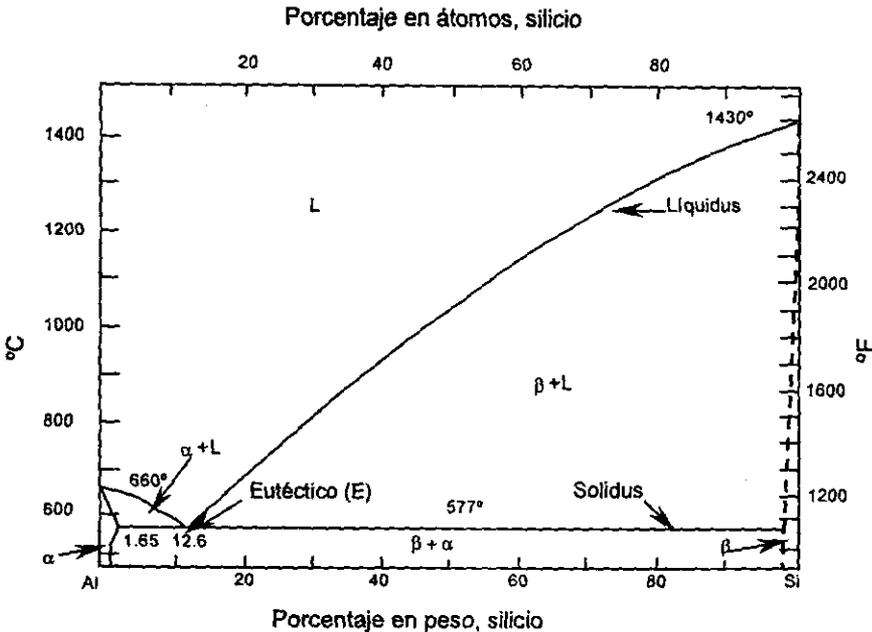


Figura 4.2 Diagrama completo de fases aluminio - silicio.

#### CAPITULO IV.

Para ilustrar como se determina la línea  $AD$  se muestra la figura 4.3. Si se realiza una fusión con 0.2% de silicio se encuentra que comienza a solidificar en un punto 1 y es un sólido en el punto 2 del diagrama agrandado. Igualmente usando 0.4% de silicio, se obtienen los puntos de liquidus y solidus 3 y 4. De esta forma se determina  $AD$  que es la línea entre el campo de una sola fase indicando como  $\alpha$  y el campo de dos fases, indicado como  $\alpha + L$ .

La línea de solubilidad  $DG$ , que se conoce a veces como *solivus* o locus de temperaturas, en donde las composiciones de un sólido están en equilibrio con las composiciones de otro sólido, en nuestro ejemplo  $\alpha$  y  $\beta$ . Si seguimos el enfriamiento de la muestra que contiene 0.2% de silicio, se ve que esta en un campo de una sola fase  $\alpha$  desde los 648 hasta los 470°C. Sin embargo, al cruzar  $DG$  a 470°C, vemos que la muestra entra en un campo de dos fases, que quiere decir que  $\beta$  se comenzara a precipitar del sólido  $\alpha$ .

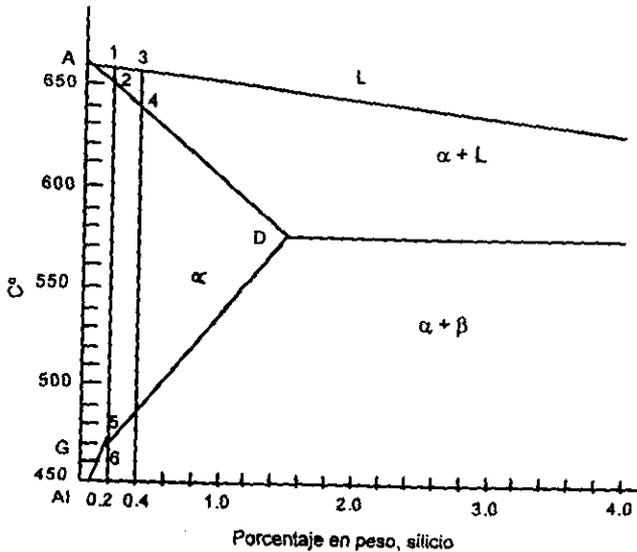


Figura 4.3 Región aumentada del diagrama de fases aluminio - silicio. (La porción rica en aluminio)

**4.3 PORCIENTO RELATIVO DE CADA FASE.**

Si tenemos dos fases en una aleación, realmente tenemos dos materiales diferentes que constituyen la estructura, cada uno con un análisis diferente. Si se separan estas fases a la temperatura ambiente y se analiza se encuentra que la fase  $\alpha$  contiene más de 98% de aluminio y la fase  $\beta$  más del 99% de silicio. Si tenemos una aleación del 97% de aluminio y 3% de silicio a 600°C. Esta se encuentra en el campo de dos fases  $\alpha + L$ . Para encontrar las composiciones de las fases sencillamente se dibuja una línea horizontal a través del campo de dos fases sobre el diagrama de la fase, hasta que toque los campos de una sola fase. Fig. 4.3. Luego se traza una perpendicular desde cada punto de contacto al eje de las X y se lee la composición particular de cada fase. Entonces la composición de la fase  $\alpha$  en la aleación con 3% de silicio a 600°C es de 1.2% de silicio. Usando la misma construcción encontramos que aun si la composición total de la aleación cambia del 1.2 al 9.0% de silicio, la fase  $\alpha$  a esta temperatura aún contiene 1.2% de silicio.

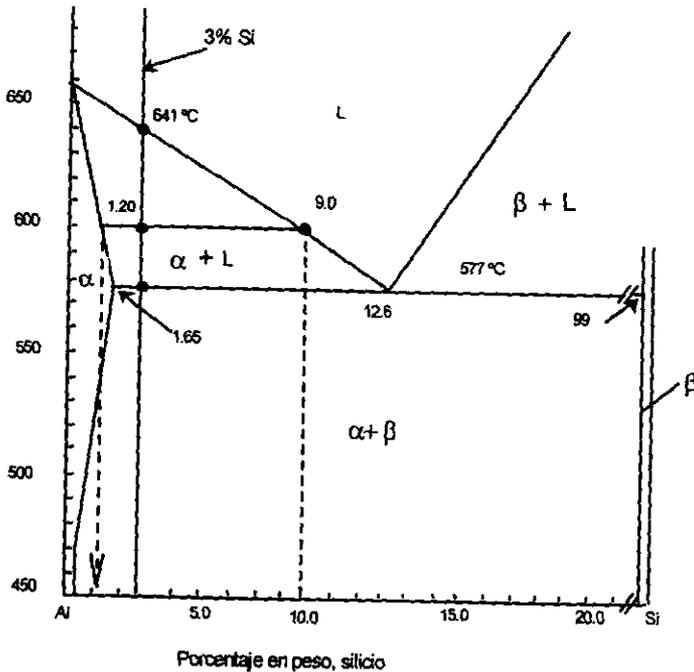


Figura 4.3 Determinación de las composiciones de las fases de un diagrama de fases

**CAPITULO IV.**

Para determinar las composiciones de las fases (análisis químico de las fases) en un diagrama de fases, se dibuja en el campo de dos fases se traza la línea horizontal (llamada línea de coexistencia) a la temperatura deseada y que toque los campos de una sola fase. Bajamos perpendiculares desde estos puntos donde la línea de coexistencia toca estos campos y se leen las composiciones de las fases sobre el eje X. Las líneas de coexistencia siempre están presentes en los campos de dos fases y no en los campos de una sola fase.

Un diagrama de fases los campos de una sola fase siempre está en los extremos de la línea de coexistencia en un campo de dos fases

Las cantidades de cada una de las fases ya que las propiedades de una mezcla de dos fases dependerán de estos porcentajes. Estas cantidades se pueden encontrar analíticamente o siguiendo un procedimiento gráfico en el diagrama de fases.

Se considera la región de dos fases  $\alpha + L$  del diagrama aluminio silicio, en el diagrama están presentes sólido y líquido. Al verter el líquido y pesar el líquido y sólido separadamente, ¿qué porcentaje del peso total tendrá cada uno?

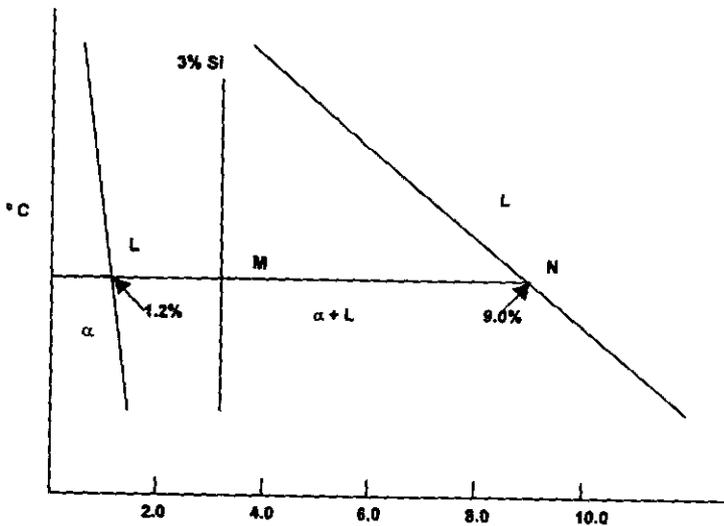


Figura 4.4 Cálculo de las cantidades de cada una de las fases utilizando el diagrama de fases.

Haciendo una fusión homogénea a 700°C usando 97g de aluminio y 3g de silicio. Se enfría la aleación totalmente líquida hasta los 600°C donde hay dos fases, todavía debe haber 3g de silicio presentes en estas fases, de tal manera que la cantidad de silicio en  $\alpha$  más la cantidad de silicio en el líquido sea igual a 3 g. Adicionamos a esto la información total obtenida de la línea horizontal a 600°C Fig.

#### CAPITULO IV.

4.4, lo cual, de acuerdo con lo comentado anteriormente, nos da la composición de las fases:

$$\alpha : 98.8\%Al, 1.2\%Si$$

$$L: 91.0\%Al, 9.0\%Si$$

Donde  $x$  son los gramos de la fase  $\alpha$ . Los gramos de la fase líquida son iguales a  $100 - x$ . La cantidad de Si es:

(gramos de  $\alpha$ )(fracción de silicio en  $\alpha$ ) + (gramos de L)(fracción de silicio en L) = gramos totales de silicio.

$$\begin{aligned}(x)(0.012) + (100-x)(0.090) &= 3 \\ -0.078x &= 6.0 \\ x &= 76.9 \text{ (gramos de } \alpha)\end{aligned}$$

Entonces tenemos 76.9% en peso de  $\alpha$  y 23.1% en peso de líquido.

En la regla de palanca para determinar la cantidad ó porcentajes de cada una de las fases, se dibuja una línea de coexistencia a través del campo de dos fases a la temperatura deseada (600°C) que toque los campos de dos fases Fig. 4.4. Posteriormente se traza una línea vertical en la composición total de la fusión (3% de silicio). La regla de la palanca inversa (que se puede probar geoméricamente) dice que el porcentaje de  $\alpha$  es  $(MN/LN) \times 100$  y el porcentaje de L es  $(LM/LN) \times 100$ . La cantidad de  $\alpha$  se encuentra tomando la longitud de la línea de coexistencia en el lado opuesto al punto de composición total, de aquí la expresión de regla de palanca inversa.

Haciendo los cálculos tenemos:

$$\text{Porcentaje de } \alpha = (9.0 - 3) / (9.0 - 1.2) \times 100 = 76.9 \text{ g de } \alpha$$

$$\text{Porcentaje de L} = (3 - 1.2) / (9.0 - 1.2) \times 100 = 23.1 \text{ g de L}$$

Estos son los porcentajes en peso de las fases y son iguales a aquellos obtenidos por el método algebraico.

La gráfica de fracción de fases Fig. 4.5, muestra cómo a medida que cambia la temperatura, cambian los porcentajes de las fases en una aleación de composición total fija. Se emplea una gráfica de líneas separadas para cada fase. Se toman los datos para la fase  $\alpha$ , se sigue la línea vertical de composición total, y se calcula de la siguiente manera:

1.-  $\alpha$  aparece a 641°C (líquidus).

2.- A 600°C tienen 76.9% de  $\alpha$  y 23.1% de líquido.

3.- Apenas encima de la línea eutéctica, a 578°C, por la regla de la palanca inversa nos da el porcentaje relativo de cada fase:

$$\text{Porcentaje de } \alpha = \{(12.6 - 3) / (12.6 - 1.65)\} \times 100 = 87.7$$

$$\text{Porcentaje de L} = 12.3$$

4.- A 576°C (apenas debajo de la línea eutéctica) tenemos  $\alpha + \beta$  y no hay líquido.

$$\text{Porcentaje de } \alpha = \{(99 - 3) / (99 - 1.65)\} \times 100 = 98.6$$

$$\text{Porcentaje de } \beta = \{(3 - 1.64) / (99 - 1.65)\} \times 100 = 1.4$$

#### CAPITULO IV.

La variación de  $\alpha$  de 87.7% a 98.6% es abrupta debido a que el 12.3% de líquido de composición eutéctica que se hallaba presente a 578°C formó  $\alpha + \beta$  al enfriarse a través de la línea eutéctica.

5.-A 450°C hay más fase  $\beta$ .

Porcentaje de  $\alpha = \{(99 - 3) / (99 - 0)\} \times 100 = 97$

Porcentaje de  $\beta = \{(3 - 0) / (99 - 0)\} \times 100 = 3$

En el intervalo de temperaturas de 641 a 578°C la  $\alpha$  se precipitó sola de un líquido. A esto se llama primaria y forma grandes cristales o dendritas. El segundo punto de importancia en la temperatura fue en la eutéctica y allí se precipitaron  $\alpha$  y  $\beta$  juntas, dando una mezcla de cristales finos  $\alpha$  y  $\beta$ .

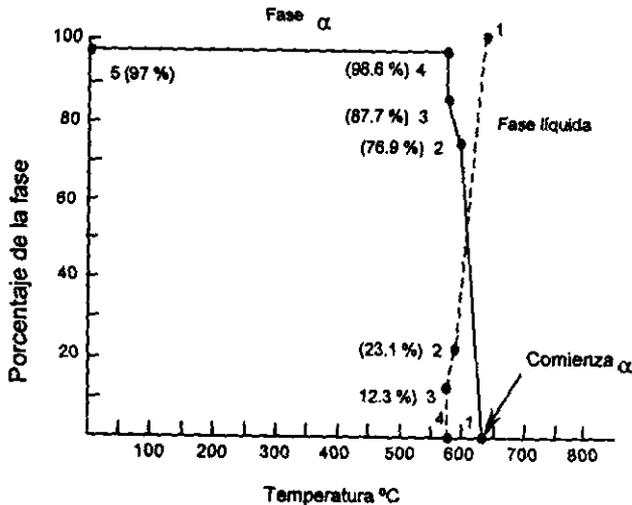


Figura 4.3.3 Gráfica de fracción de fases calculada a partir del diagrama de fases para 3% de silicio en aluminio.

#### 4.4 DIAGRAMAS TERNARIOS

En muchas aleaciones tenemos presentes tres elementos principales, por ejemplo en el acero inoxidable 18/8, que contiene 18% de cromo, 8% de níquel y alrededor de 74% de hierro.

En un sistema ternario bajo las mismas condiciones podemos encontrar tres fases en un intervalo de temperaturas y cuatro fases en una temperatura dada. El mapa tridimensional se utiliza para representar esta nueva variable. Es una gráfica triangular. Fig. 4.4.1.

Se considera la representación de la composición a temperatura constante y luego la dimensión adicional para temperatura variable. El punto en la esquina del hierro es 100% hierro. Cualquier punto en la línea del 90% de hierro contiene esa

#### CAPITULO IV.

cantidad de hierro. Un acero inoxidable de 18% de cromo, 8% de níquel y 74% de hierro llamado 18/8. Se muestra la línea de 74% de hierro y la composición debe estar en algún sitio a lo largo de esta línea.

La esquina de cromo representa 100% de cromo. Se aleja para encontrar la línea de 18% de cromo. El punto donde ésta interceptada la línea de 74% de hierro es 18% de cromo y 74% de hierro.

Para encontrar la composición de una aleación de tres elementos utilizando un gráfico triangular, se localizan las líneas apropiadas de isocomposición para cada elemento, que comienza a partir de la esquina del triángulo correspondiente a ese elemento.

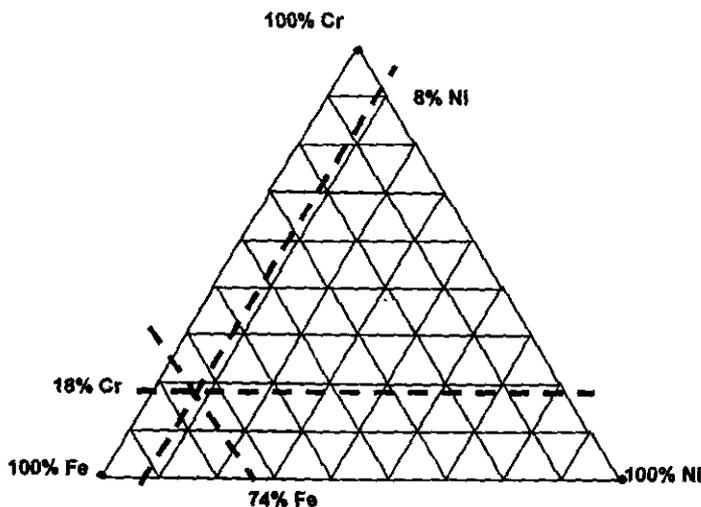


Figura 4.6 Localización de un punto en el diagrama ternario hierro-níquel-cromo.

En la Fig. 4.7 se muestra un diagrama completo de tres componentes, o ternario, a presión constante pero a temperatura variable.

El diagrama ternario tiene igual importancia al tratar con los metales. Se puede añadir un tercer elemento para bajar el punto de fusión de una aleación.

Los diagramas de fases para determinar las fases que están presentes a una temperatura dada, se aplica en condiciones de equilibrio. Las condiciones fuera de equilibrio se deben considerar. Una de las estructuras más importantes en la metalurgia (la microestructura que encontramos en partes de acero endurecidas tales como brocas, sierras y balineras) se llama martensita y no se puede encontrar en ningún diagrama de fases. Por otra parte, no se puede producir bajo condiciones controladas sin un conocimiento previo del diagrama de fases hierro carbono, ya que primero es necesario producir una fase estable llamada austenita (hierro FCC con carbono en solución sólida intersticial) a alta temperatura.

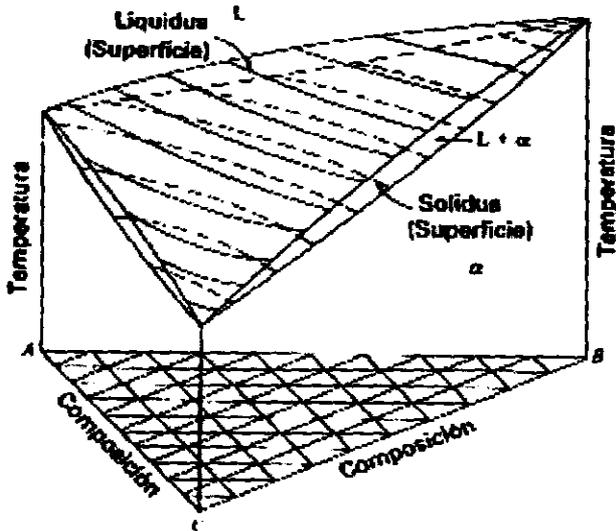


Figura 4.7 Diagrama ternario.

# **CAPITULO V**

## ALEACIONES FERROSAS

Se ha establecido que de los elementos químicos, 80 de ellos son metales; a pesar de esta gran cantidad no es posible con ellos resolver la variedad de los problemas planeados por las necesidades humanas.

Una definición generalmente aceptada es la que dice que una aleación es una sustancia que tiene propiedades metálicas, que están compuestas de dos o más elementos químicos de los cuales por lo menos uno es metal. Por lo tanto no toda relación entre elementos químicos aunque uno de ellos sea metal, produce una aleación.

La interacción entre dos elementos metálicos modifica las propiedades que cada uno de ellos tiene por separado; se modifican la resistencia mecánica, las propiedades eléctricas, la resistencia a la corrosión, las constantes físicas de cambio de estado de cristalización, etc.

Un punto de vista práctico para la clasificación de las aleaciones y su estudio es de acuerdo con el metal base de ellas. Hay tantas familias como metales puros capaces de aceptar elementos aleantes. Sin embargo, debido al tonelaje de producción de las aleaciones se acostumbra hacer una gran división en dos grupos:

Aleaciones ferrosas

Aleaciones no ferrosas

En este capítulo trataremos a las aleaciones de base hierro cuya producción supera al conjunto de aleaciones de los elementos básicos restantes y que forman el segundo grupo.

El acero es una aleación ferrosa y es el material metálico más utilizado, ya que además de ser abundante y barato, posee ciertas características como son: alta resistencia, ductilidad, elasticidad, tenacidad, resistencia al calor, a las temperaturas bajas y al desgaste; además de que los productos usados pueden ser reciclados dentro de un proceso de producción.

Por todo ello, se comprende que los aceros son imprescindibles en la construcción de automóviles, edificios, ferrocarriles, y en un sin fin de cosas esenciales para nuestro bienestar.

### 5.1 ESTRUCTURAS PRESENTES

Las estructuras presentes en el diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>Fe así como otras que están presentes en los aceros que se describirán a continuación.

**AUSTENITA.** Se le llama a la solución sólida de uno o más elementos en hierro cúbico - centrado en la cara. Regularmente se le designa como solución sólida  $\gamma$ . Resulta blanda, dúctil, tenaz, magnética y presenta un empaquetamiento de

## CAPITULO V

átomos mucho mayor que la ferrita, que es cúbica centrada en el cuerpo (b.c.c.) con dos átomos por celda unitaria. Tanto en la austenita como en la ferrita los átomos de carbono se disuelven intersticialmente, ósea, en los espacios sin llenar de la estructura reticular. El porcentaje de espacios sin llenar es la red f.c.c. (cúbica centrada en la cara) es de 25% y en la red b.c.c. (cúbica centrada en el cuerpo) es del 32%. La solubilidad del carbono en austenita es mucho mayor que en ferrita.

Las propiedades promedio de la austenita son:

Resistencia tensil: 150,000 lb/pul<sup>2</sup>, elongación 10% en 2 pulgadas, dureza Rockwell C40 aproximadamente, tenacidad alta. Generalmente a temperatura ambiente no es estable, aunque bajo ciertas condiciones, es posible tener austenita a temperatura ambiente.

**LEDEBURITA.** Se le designa a la mezcla eutéctica de austenita y cristales mixtos hierro-carbono saturados con el 0.85 al 1.7% de carbono.

**FERRITA:** Se le designa a la solución sólida  $\alpha$  o hierro alfa. Es una solución sólida intersticial de una pequeña cantidad de carbón disuelto en hierro  $\alpha$  (b.c.c.). Resulta muy dúctil, maleable y magnético. La máxima solubilidad que presenta es de 0.025% de carbono a una temperatura 1333°F y disuelve tan solo a 0.008% de Carbono a temperatura ambiente, Comparativamente con las estructuras que se presentan en el diagrama, puede considerarse como la más suave. Las propiedades promedio que presentan son: resistencia tensil 40,000 lb/plg<sup>2</sup>; elongación 40% en 2 pulgadas, dureza menor que la Rockwell B90.

La ferrita se encuentra libre en los aceros de menos de 0.89% de carbono. En los aceros con carbono superior a 0.89% forma la matriz de los carburos de hierro (cementita) después de un recocido oscilante a temperaturas próximas al punto crítico.

En algunos diagramas de equilibrio hay dos regiones ferríticas separadas por un área austenítica. El área inferior es ferrita alfa, en tanto que la superior es ferrita delta. En tanto que si no hay designación se supone que es ferrita alfa.

**PERLITA:** Es la mezcla eutectoide que contiene 0.8% de carbono y se forma a 1333°F a un enfriamiento muy lento. Se puede considerar que la perlita es un agregado laminar de ferrita y cementita que a menudo se presenta en el acero y en el hierro fundido. Dentro de sus propiedades promedio se encuentra: resistencia tensil 120,000 lb/pul<sup>2</sup>, elongación 20% en 2 pulgadas, dureza Rockwell C20, Rockwell B95-100 ó BHN 250-300. Se puede decir que la perlita se presenta como laminillas alternadas de Fe<sub>3</sub>C y de ferrita o solución de hierro alfa, su dureza y su resistencia no son muy altas, pues depende del contenido de carbono en el acero, por una parte y por otra, depende de la finura de la perlita, es decir, del tamaño de las laminillas y de su proximidad unas con otras. Entre más fina sea la perlita naturalmente va siendo más dura, su resistencia más alta pero su ductilidad va bajando.

La perlita muy fina en ocasiones ya no se puede "resolver" con el microscopio, es decir, ver separadas unas laminillas de otras. Esto ocasiono que los metalurgistas en un principio le dieran nombres diferentes, pensando que se

trataba de otras estructuras y fueron conocidas como: sorbita, trostita, granulita con la mejoría en los instrumentos ópticos se comprobó que esos componentes estaban formados de perlita, quizás muy finas.

**BAINITA:** Se llamó así en honor a Bain, es parecida a la martensita con la que frecuentemente se confunde, pero en la bainita el carbono ya no está disuelto sino que se ha precipitado, es decir, fundamentalmente es ferrita pero con carburo de hierro precipitado en forma muy fina

La bainita inferior es más suave y tenaz que la martensita que se puede reconocer por la apariencia de una pluma de ave. En la bainita superior la precipitación de carburo es más completa (la transformación ocurre a más alta temperatura) y con mayor tamaño, en esta estructura los carburos son fácilmente reconocidos sobre una materia ferrítica, esta estructura es más suave y tenaz que la bainita inferior y aquella lo es de la martensita. Respecto a la perlita es más dura y de resistencia mayor, queda la bainita situada en medio de la perlita y la martensita.

**MARTENSITA:** Puede considerarse como una solución sólida de carbono en ferrita sobresaturada y distorsionada. Es hierro alfa pero contiene carbono disuelto en tales cantidades que la solución está sobresaturada. La red cristalina del hierro alfa, como ya se mencionó es cúbica centrada en el cuerpo, los átomos de carbono que contiene en exceso se alojan dentro de la celda (como átomos intersticiales), de éste modo deforman la red y de cúbica cambia a tetragonal; por ello tiene propiedades muy particulares, un acero con esta estructura se vuelve durísimo, pero es muy frágil. La dureza depende del contenido de carbono en el acero. La martensita vista al microscopio tiene forma acicular, es decir, de agujas, especies de punta de lanza o flecha que a veces tienen una envergadura al centro que asemeja una hoja, por lo general estas agujas se disponen triangularmente. Se consigue por enfriamiento rápido de la austenita y está constituida por agujas que forman ángulos de aproximadamente 60°C.

**CEMENTITA.** Matriz ferrítica y glóbulos cementita. Es carburo de hierro ( $Fe_3C$ ) y es el constituyente más duro de los aceros (68 HRC, Dureza Rockwell C). Tiene propiedades magnéticas por debajo de los 210°C y amagnéticas a temperaturas superiores. Se forma en los aceros con  $C > 0.89\%$  como cementita proeutectoide y junto con la ferrita en la perlita. Y como cementita terciaria en los aceros con  $C < 0.25\%$ . Se caracteriza por alargamiento  $A = 0\%$  y  $DB = \text{Dureza Brinell} = 700$ .

**SORBITA:** Es un constituyente por ferrita y cementita en láminas muy finas cuya resistencia es superior a la de los otros constituyentes:  $R = 875$  a  $1375 \text{ N/mm}^2$  ( $88$  a  $140 \text{ Kg/mm}^2$ ) y  $A = 10$  a  $20\%$ . Aparece frecuentemente en los aceros normalizados y recocidos en forma vermicular o de granos blandos. También se forma en casi todos los aceros forjados y laminados. Es posible obtenerla por enfriamiento de la austenita a velocidad inferior a la crítica de temple o por calentamiento de la austenita o martensita entre 400 y 700°C.

## 5.2 DIAGRAMA FIERRO-CARBURO DE FIERRO

En esencia, el diagrama de Hierro-Carburo de Hierro expone la relación entre el contenido de carbono y la temperatura. Indicando también a su vez el sistema de "equilibrio" hierro y carburo de hierro, así como también los cambios de fase que ocurren en el calentamiento y en el enfriamiento; además de que indica la naturaleza de los componentes que existen a cualquier temperatura. El diagrama de hierro-carburo de hierro no es un verdadero diagrama de equilibrio, pues el equilibrio implica que no hay cambio de fase con el tiempo; en este caso el compuesto carburo de hierro se descompondrá en hierro y carbono (grafito), pero para ello tardará un poco en suceder. En realidad el diagrama hierro-carburo de hierro representa técnicamente, condiciones metaestables, esto quiere decir que el hierro-carburo de hierro es una fase metaestable; es representativo de los cambios de equilibrio, bajo condiciones de calentamiento y enfriamiento relativamente lentos.

En la figura (5.2.1) se muestra una porción del diagrama que muestra algunos aceros cuyo contenido de carbono no es superior al 2%; más allá de esta cifra, el metal se clasifica como hierro colado o fundición de hierro. Sin embargo, en condiciones de equilibrio, una composición dada, a una temperatura definida, contendrá los componentes que aparecen en el diagrama.

Estructuralmente el diagrama muestra tres líneas horizontales que indican reacciones isotérmicas. Es importante hacer notar las estructuras (sólidas) estables, presentes, es decir; la austenita (solución de carbono de hierro en gamma), la ferrita (solución de carbono de hierro alfa), y la perlita (mezcla eutenoide de ferrita y cementita Fe-C). Las estructuras antes mencionadas, no son las únicas que se pueden presentar, se pueden obtener también estructuras metaestables; las que tienen características diferentes a las anteriores y se presentan cuando la velocidad de enfriamiento aumenta; estas nuevas estructuras son la martensita y la bainita.

Para entender el diagrama de Fe-C se elegirá una aleación de 0.5% de carbono para explicar las zonas que integran dicho diagrama. De esta manera comenzando con 0.5% de carbono a 1550°C, esta aleación se encuentra en forma líquida y empieza a solidificarse a 1480°C aproximadamente y termina a 1430°C, es decir, que existe un intervalo de temperatura de 50°C en los que conviven el sólido y el líquido al mismo tiempo por debajo de 1430°C la aleación está completamente solidificada y constituida de Fe gamma o austenita que puede disolver fácilmente a 0.5% de carbono; nótese que existen varios huecos por debajo de la línea de sólidos, es aquella línea que une todos aquellos puntos de fin de solidificación; estas líneas indican las transformaciones al estado sólido referidas anteriormente. Continuando con lo sucedido a la aleación de FeC con 0.5% de carbono al descender la temperatura a 765°C se inicia la transformación de Fe gamma a Fe alfa o Ferrita y por tanto la solubilidad del carbono en la matriz se ve modificada, en el intervalo de 27°C, coexisten la Ferrita transformada y la austenita cada vez con mayor porcentaje de carbono hasta llegar a 0.80% de carbono, con lo cual una sola temperatura de 738°C la

Austenita se transforma a un constituyente llamado Perlita, el cual es un eutectoide formando las laminillas alternadas de Ferrita y Cementita o carburo de Hierro ( $Fe_3C$ ).

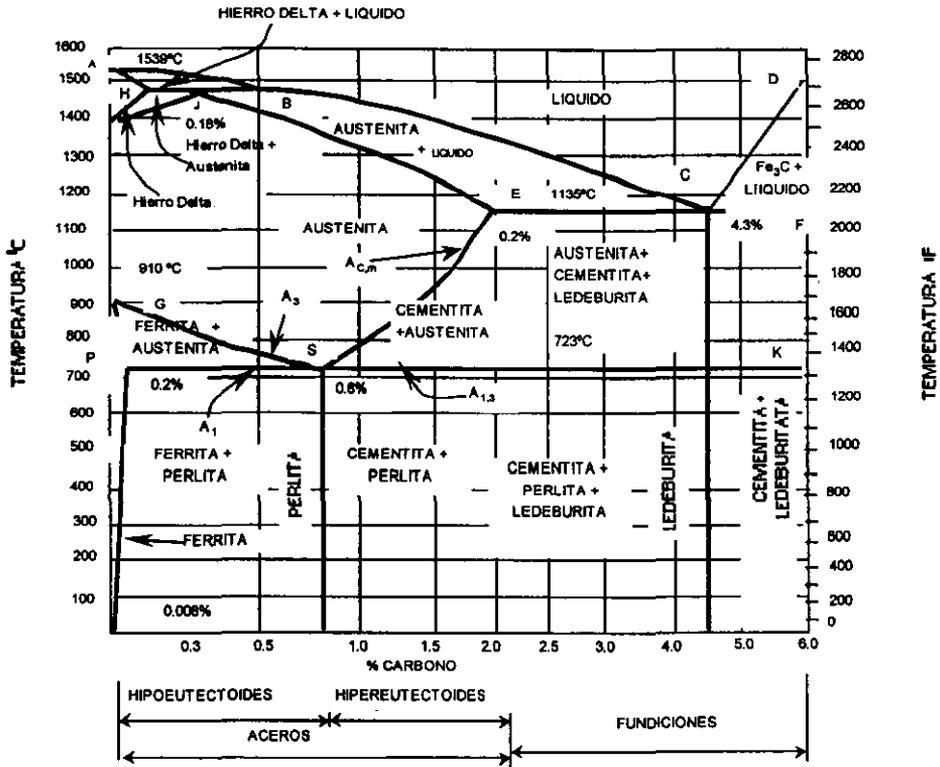


Figura 5.2.1 Diagrama de Hierro - Carburo de hierro

### 5.3 CLASIFICACION DE ALEACIONES FERROSAS.

Como ya mencionamos las aleaciones ferrosas son las que tienen como metal base el hierro y de ellas la más importante son las que forman principalmente con el carbono. Los aceros son aleaciones ferrosas cuyo contenido de carbono varía de 0.008% a 2.0%; y de acuerdo con el contenido de carbono forman los tres grupos siguientes:

Hierro Dulce (menos del 0.008% C)

Aceros (0.008 - 2.0% C)

Hierro colado (más de 2.0% C) Es la aleación de mayor consumo que todas las demás juntas.

El carbono aumenta la resistencia mecánica del hierro y disminuye su tenacidad.

## CAPITULO V

Industrialmente las aleaciones ferrosas no solamente tienen carbono sino otros elementos, ya como impurezas aleantes, que modifican las propiedades.

Una proporción adecuada de aleantes, además del carbono, origina aleaciones de gran versatilidad en propiedades refractarias, de resistencia, ductilidad, dureza, propiedades no magnéticas, etc., de las que se fabrican multitud de productos. Ya que los aceros, además de carbono, tienen elementos que se agregan en cantidades predeterminadas justamente para modificar las propiedades. Estos se dividen en:

- Aceros al carbón
- Aceros aleados

Las especificaciones de los aceros fueron resultado de los esfuerzos de American Iron Steel Institute (AISI) y la Society of Automotive Engineers (SAE). La clasificación consta de 4 ó 5 dígitos. El primero de ellos indica a que tipo de acero se refiere. De este modo, 1 indica un acero al carbón; 2 un acero al níquel; 3 un acero al níquel-cromo, etc.

En el caso de aceros de aleación simple, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento predominante de la aleación. Los dos o tres últimos dígitos generalmente indican el contenido de carbono medio dividido entre 100. Por ejemplo el 2520 indica un acero al níquel de aproximadamente 5% de níquel y 0.20% de carbono. Los números básicos para la serie de cuatro dígitos de los diversos grados de aceros de carbón y de aleación con porcentajes aproximados de identificación son:

10xx	Aceros al carbón: Básicos de hogar abierto y bessemer ácidos
11xx	Aceros al carbón: Básicos de hogar abierto y bessemer ácidos, azufre alto, fósforo bajo
12xx	Aceros al carbón: Básicos de hogar abierto y bessemer ácidos, azufre alto, fósforo alto.
13xx	Manganeso 1.75;
23xx	Níquel 3.50 (serie eliminada en 1959)
25xx	Níquel 5.00 (serie eliminada en 1959)
31xx	Níquel 1.25 y cromo 0.60 (serie eliminada en 1964)
33xx	Níquel 3.50 y cromo 1.50 (serie eliminada en 1964)
40xx	Molibdeno 0.20 ó 0.25
41xx	Cromo 0.50, 0.80, ó 0.95 y molibdeno 0.12, 0.20, ó 0.30
43xx	Níquel 1.83 y cromo 0.50 ó 0.80 y molibdeno 0.25
44xx	Molibdeno 0.53
46xx	Níquel 0.85 ó 1.83 y molibdeno 0.20 ó 0.25
47xx	Níquel 1.05, cromo 0.45 y molibdeno 0.20 ó 0.35
48xx	Níquel 3.50 y molibdeno 0.25
50xx	Cromo 0.40
5 xx	Cromo 0.80, 0.88, 0.93, 0.95 ó 1.00
5xxx	Carbono 1.04 y cromo 1.03 ó 1.45
61xx	Cromo 0.60 ó 95 y vanadio 0.13 ó 0.15 mín.
86xx	Níquel 0.55, cromo 0.50 y molibdeno 0.20
87xx	Níquel 0.55, cromo 0.50 y molibdeno 0.25
88xx	Níquel 0.55, cromo 0.50 y molibdeno 0.35
92xx	Silicio 2.00
93xx	Níquel 3.25, cromo 1.20 y molibdeno 0.12 (serie eliminada en 1959)
96xx	Níquel 1.00, cromo 0.80 y molibdeno 0.25 (serie eliminada en 1964)
94Bxx	Níquel 0.45, cromo 0.40 y molibdeno 0.12 y boro 0.0005 mín.

Tabla 5.4.1 Algunas especificaciones de hacer estándar representativo

Nº ANSI	%C	%Mn	%Pmax.	%S max	Nº SAE
<b>ACEROS AL CARBON</b>					
C1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.05	1010
C1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.04	0.05	1015
C1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.04	0.05	1020
C1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.04	0.05	1025
C1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.04	0.05	1030
C1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.04	0.05	1035
C1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.04	0.05	1040
C1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.04	0.05	1045
C1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.04	0.05	1050
C1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.04	0.05	1055
C1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.04	0.05	1060
C1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.04	0.05	1065
C1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.04	0.05	1070
C1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.04	0.05	1074
C1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.04	0.05	1080
C1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.04	0.05	1085
C1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.04	0.05	1090
C1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.04	0.05	1095

### 5.3.1 C1070 ACEROS AL CARBÓN

Los aceros al C1075 carbón se producen en mayor cantidad y tienen más amplia utilización que cualquier otro metal, debido a su versatilidad y bajo costo.

Los aceros al carbón suelen contener cantidades pequeñas de Si, Mn y en ocasiones de P y S; si los dos primeros se agregan al metal durante su fabricación con el objeto de desoxidar al metal; el manganeso, además sirve para desulfurar; mientras que los últimos se consideran perjudiciales en general y a veces se añaden para obtener maquinabilidad.

La acción del carbono sobre las propiedades de las aleaciones hace muy sensible al porcentaje del elemento aleante. El carbono en una concentración relativamente pequeña, afecta las propiedades del acero de tal forma que con baja proporción es dúctil, maleable y de regular resistencia, pero al aumentar la concentración de carbono, se reducen las dos primeras propiedades y se aumenta la última, así mismo, aumenta la dureza y disminuye la tenacidad.

Con el aumento de la dureza (esto se consigue por medio del temple) disminuye la soldabilidad.

Como las características de los aceros al carbón son muy diversas, se les clasifica de acuerdo con el contenido de dicho elemento en:

- Aceros de bajo carbono (hasta 0.30% C)
- Aceros de medio carbono (0.30 – 0.85% C)
- Aceros de alto carbono (más de 0.85% C)

Las cantidades de manganeso varían de 0.30 a 0.60% en los aceros de bajo carbono y pueden tener hasta 1.0% algunos tipos de alto carbono.

El silicio debe estar presente en cantidades suficientes de acuerdo con el tipo de fusión.

El fósforo y el azufre no deben exceder de 0.04 y 0.05% respectivamente, a menos que sean del tipo de aceros al carbón de maquinado rápido en donde estos elementos se agregan específicamente para lograr un metal que bajo la herramienta de corte produzca una minuta fina y quebradiza.

**LOS ACEROS AL BAJO CARBONO** generalmente se someten a un proceso de recocido a tratamientos de endurecimiento superficial. Tienen poca templeabilidad. El proceso de recocido de estos aceros se aplica principalmente a láminas y tiras en las acerías para la preparación de estampado entre otras operaciones para liberar las deformaciones de trabajo. Esta operación se lleva a cabo a temperaturas de recritalización y la menor temperatura de transformación.

**LOS ACEROS AL MEDIO CARBONO**, debido a su mayor contenido de carbono, generalmente se utilizan en la condición de endurecido y revenido. Si se varía el medio de templeado y la temperatura de revenido, se pueden producir una gran variedad de propiedades mecánicas. Son los más versátiles de los tres grupos de aceros al carbón y los que más se emplean para ejes de cigüeñal, acoplamientos, varillas de enlace y muchas otras piezas de maquinaria. Estos aceros generalmente se normalizan o recuecen antes del endurecimiento, a fin de obtener las mejores propiedades.

**LOS ACEROS AL ALTO CARBONO** están más restringidos en sus aplicaciones, ya que es más alto el costo de fabricación y tienen una reducida maquinabilidad, capacidad de formado y capacidad de soldado, en comparación con los aceros al medio carbono. También son más frágiles en la condición de tratamientos térmicos. Son adecuados para resortes en los que se requiere resistencia a la fatiga y a las deformaciones permanentes.

También se les puede clasificar como sigue:

-Por la desoxidación del acero:

Acero efervescente

Acero semicalmado

Acero calmado

Acero tapado

-Por el producto de fabricación

Barras

Láminas

Tubo

Fundiciones

### 5.3.2 ACEROS ALEADOS.

Los aceros son clasificados por el contenido controlado de aleantes, que modifican profundamente las propiedades, estos elementos pueden ser manganeso, silicio, cromo, níquel, molibdeno, tungsteno, etc.

De acuerdo con las cantidades que de ellos se agrega pueden dividirse en:

- Aceros de baja aleación (hasta 2/3%).
- Aceros de media aleación (2/3 a 10%).
- Aceros de alta aleación (más de 10%).

#### ACEROS DE BAJA ALEACIÓN.

Este grupo de aceros se clasifica a su vez por el nombre del elemento o elementos principales de tal suerte que hay acero al níquel, acero al cromo níquel, al molibdeno, etc.

Se utilizan ampliamente para flechas, tornillos, espárragos, piezas para cementar, piezas con templabilidad controlada.

#### ACEROS DE MEDIA ALEACIÓN.

Dentro de este tipo de aceros, los más importantes son los que contienen cromo y molibdeno, que los hacen adecuados para temperaturas más o menos elevadas y por ello se utilizan en calentadores e intercambiadores de calor, por ejemplo. La selección de estas aleaciones para servicios a más de 752°C. se efectúa considerando diversos factores y experiencia previas.

Entre estos factores se encuentran los requerimientos mecánicos y metalúrgicos generados por las condiciones de presión y temperatura de operación, así como los diversos medios en los cuales puede surgir el deterioro y falla de cada aplicación particular.

Los materiales fabricados con aceros de media aleación cromo-molibdeno (0.5% - 2.5% de Cr a 0.5% - 1.0% de Mo) tienen mayor resistencia; que los de aceros al carbono, permitiéndose su empleo bajo esfuerzos más altos. La presencia de cromo hace al acero más resistente a las condiciones de oxidantes o sulfurosas, por lo que se prefiere a los aceros aleados únicamente con molibdeno.

#### ACEROS DE ALTA ALEACIÓN

Estos aceros forman un grupo muy importante de metales que se utilizan en condiciones muy especiales. Pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Aceros inoxidables
- Aceros refractarios
- Aceros para herramientas

La característica principal de estos aceros es su resistencia a la oxidación y a la corrosión aún a temperaturas elevadas.

Esta propiedad se la imparte la presencia del cromo en cantidades por lo menos de 12%. Algunos tipos contienen además níquel (8/22%) y cantidades menores de molibdeno, vanadio, y otros.

El cromo es llamado formador de ferrita porque éste tiende a suprimir la transformación de ferrita-austenita observada durante el calentamiento del hierro o acero al carbón.

Del diagrama de la figura 5.3.1 para aleaciones con contenido de carbono  $C < 0.1\%$ , se deduce lo siguiente.

- La ferrita de todas las aleaciones hierro - cromo cuyo contenido de cromo oscila entre 0-12% Cr, se transforma por calentamiento, en austenita a fase gama ( $\gamma$ ). Por enfriamiento rápido hasta la temperatura ambiente conseguiremos transformar la austenita en martensita.
- Los aceros con cromo arriba del 13% caen en la región de la ferrita o fase alfa ( $\alpha$ ), independientemente de la temperatura a la cual sean calentados. Estas aleaciones serán ferríticas y no sufren ningún cambio, aún con calentamiento no existe transformación de la fase alfa ( $\alpha$ ) en fase gama ( $\gamma$ ).
- Las aleaciones hierro - cromo con contenidos de cromo entre 12 y 13% forman a elevadas temperaturas estructuras bifásicas ( $\alpha + \gamma$ ), que enfriadas rápidamente a temperatura ambiente presentarán una estructura formada por ferrita y martensita (aceros martensíticos ferríticos).
- Las aleaciones hierro - cromo con contenidos de cromo de 25 a 42% y de 48 a 65% a temperaturas bajas, de 600 a 820°C aparece una fase intermetálica llamada fase sigma ( $\sigma$ ) que coexiste con la ferrita.
- Aleaciones con contenidos de cromo de 42 a 48%, toda la ferrita puede transformarse en fase sigma. Esta fase es muy dura y frágil. Se puede disolver en la ferrita calentando por encima de los 820°C.
- Por consecuencia, el cromo es en elemento favorecedor de la fase alfa.

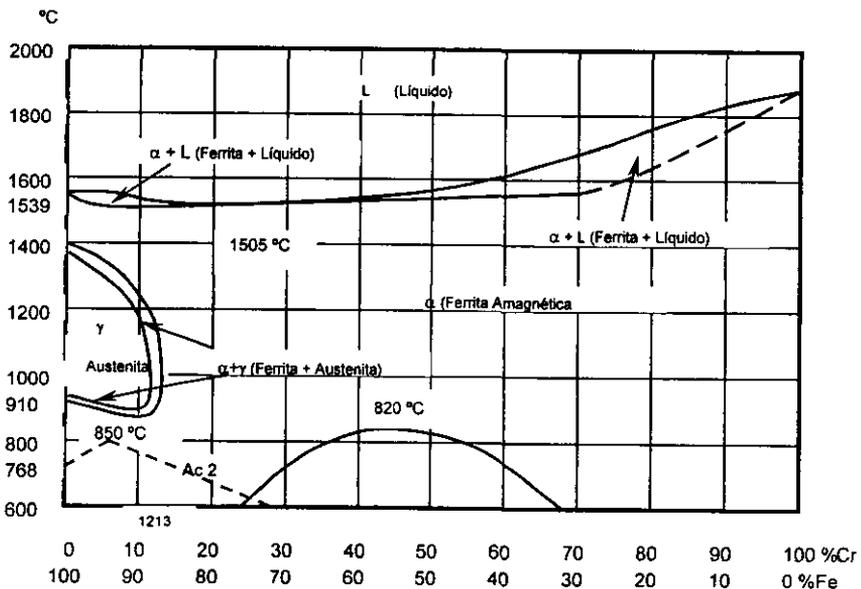


Fig. 5.3.1 Diagrama Hierro - Cromo.

**ACEROS INOXIDABLES.**

Su desarrollo fue a partir de la Segunda Guerra Mundial; encontraron su primer empleo en la fabricación de hornos y posteriormente en equipos militares y equipos generadores de energía como es el caso de las turbinas.

En general los aceros inoxidable tienen aplicaciones resistentes a la corrosión y al calor. La resistencia a la corrosión se debe a una película delgada, adherente, estable de óxido de cromo de níquel que protege efectivamente al acero contra muchos medios corrosivos.

Mediante un sistema de numeración de tres números es utilizado para identificar los aceros inoxidable. El primer numero indica en grupo y los dos siguientes no tienen significado específico. A continuación se muestra la serie:

DESIGNACION DE LA SERIE	GRUPOS
2XX	Cromo-níquel-manganeso; no endurecibles, austeníticos, no magnéticos.
3XX	Cromo-níquel; no endurecibles, austeníticos, no magnéticos.
4XX	Cromo; endurecibles, martensíticos, magnéticos.
4XX	Cromo; no endurecibles, ferríticos, magnéticos.
5XX	Cromo; bajo cromo, resistentes al calor.

Los aceros inoxidable contienen cantidades relativamente grandes de cromo, las aleaciones hierro-cromo-carbono pertenecen a un sistema ternario.

El acero con 12% de cromo y carbono variable aumenta la temperatura crítica y reduce el área austenítica; sin embargo con la adecuada cantidad de carbono, pueden tratarse térmicamente para obtener una estructura martensítica, como lo fueron los aceros simples al carbón.

Su clasificación se realiza de acuerdo al tratamiento térmico, a los procesos termomecánicos de forja, laminación, extrusión, etc., la resistencia al calor depende de su composición. Metalúrgicamente pueden clasificarse por la microestructura que los constituye: ferrítica, austenítica, martensítica y mixta. A esta clasificación deben agregarse aquellos aceros que presentan la capacidad de endurecerse por precipitación.

*A) Aceros Martensíticos Inoxidable.*

Son aceros con contenido de cromo entre 11.5 y 18%. De este grupo son los tipos 403, 410, 416, 420, 440A, 501 y 502. Algunas propiedades y aplicaciones de los aceros martensíticos inoxidable son los siguientes:

- a) 403. Grado de calidad para turbina, similar al 410; se utiliza en aletas para turbinas de vapor y otras piezas sometidas a grandes esfuerzos.
- b) 410. Aleación base para este grupo; propósito general, tipo tratable térmicamente; se utiliza para piezas de maquinaria, fechas para bombas.
- c) 414. El mayor contenido de níquel incrementa la templabilidad y la resistencia a la corrosión; utilizado para resortes, laminas revenidas y piezas de maquinaria.
- d) 416. Modificación del maquinado libre del 410 (contiene S); se emplea para cortes pesados.
- e) 420. Modificación del alto carbono del 410; tiene mayor dureza y más resistencia al desgaste; se usa para cuchillería, instrumentos quirúrgicos y válvulas.
- f) 440C. Máximo contenido de carbono (0.95 a 1.20%) de los aceros inoxidables, se utiliza para bolas, cojinetes y rodillos.
- g) 431. El mayor contenido de cromo mejora la resistencia a la corrosión; tiene altas propiedades mecánicas; se emplea para accesorios de aviones, barras calentadoras, y en tornillos de piezas para maquinaria papelera.
- h) 416Se. Modificación del maquinado libre del 410 (contiene Se); para cortes ligeros y donde se incluye el trabajado en caliente y el de cabezas en frío.
- i) 440A. Ligeramente menos contenido de carbono que el 440B para mayor tenacidad; puede tener mayor dureza que el 420; buena resistencia a la corrosión; se emplea para cuchillería y en piezas para válvulas.
- j) 440B. El ligeramente menor contenido que el 440C mejora la tenacidad; se utiliza para cuchillería fina y en piezas para válvulas.

Los aceros martensíticos inoxidables son magnéticos, pueden trabajarse en frío sin dificultad, especialmente con bajo contenido en carbono, pueden maquinarse satisfactoriamente, tienen buena tenacidad, gran resistencia a la corrosión atmosférica y a algunos agentes químicos, y se trabajan fácilmente en caliente. Alcanzan su óptima resistencia a la corrosión cuando se endurecen a temperatura recomendada, pero no son tan buenos como los aceros austeníticos o ferríticos inoxidables.

El proceso de tratamiento térmico es el mismo que para los aceros simples al carbono o aceros de baja aleación, en los que la máxima dureza y resistencia depende especialmente del contenido de carbono.

#### *B) Aceros Ferríticos Inoxidables.*

Este grupo de aceros inoxidables con sólo cromo contienen aproximadamente de 14 a 27% de cromo e incluye los tipos 405, 430 y 416. A continuación se mencionan algunas propiedades y aplicaciones de esta clasificación.

- a) 430F. Modificación del maquinado libre del 430 (contiene S); para cortes pesados y piezas para máquinas destinadas a hacer tornillos.
- b) 430. Aleación básica para este grupo: tipo de cromo no endurecible; se utiliza para adornos decorativos, tanques para ácido nítrico y en cestas de recocido.

- c) 430Se. Modificación del maquinado libre del 430 (contiene Se); se emplea para cortes ligeros y donde se pueden incluir el trabajado en caliente o el trabajado de cabezas en frío.
- d) 405. La adición de aluminio mejora la soldabilidad de esta otra forma de aleación martensítica, haciéndola no endurecible; se utiliza donde no se desean los tipos endurecibles en aire.
- e) 442. Alto contenido de cromo para mayor resistencia a la corrosión y a la formación de escamas; se utiliza para piezas de hornos, toberas y en cámaras de combustión.
- f) 446. El mayor contenido de cromo que el 442 aumenta la resistencia a la corrosión y a la formación de escamas a altas temperaturas; se emplea especialmente en servicio intermitente, a menudo en atmósferas de comportamiento azufroso.

Como estos aceros contienen poco carbono pero generalmente más cromo que los de grado martensítico, no se pueden endurecer por tratamiento térmico, sino sólo moderadamente mediante trabajo en frío. Son magnéticos y pueden trabajarse en frío o en caliente, pero alcanzan su máxima suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión en la condición de recocido, en esta condición su resistencia es de 50% o mayor a la de los aceros al carbón; además, son superiores en resistencia a la corrosión y maquinabilidad a los aceros martensíticos inoxidables. El recocido es el único tratamiento térmico aplicado a los aceros verdaderamente ferríticos. Aunque no se ha determinado la causa precisa de la fragilidad, sus efectos aumentan rápidamente con el contenido de cromo, alcanzando un máximo en el tipo 446.

### *C) Aceros Austeníticos Inoxidables.*

Son los aceros inoxidables al cromo-níquel (tipo 3xx) y al cromo-níquel-manganeso (tipo 2xx), que resultan austeníticos; Son esencialmente no magnéticos en la condición de recocido y no endurecen por tratamiento térmico. El contenido total de níquel y cromo es de por lo menos 23%. El trabajo en frío les desarrolla una amplia variedad de propiedades mecánicas y, en esta condición, el acero puede llegar a ser ligeramente magnético. Son muy resistentes al impacto y difíciles de maquinar, a menos que contengan azufre y selenio. Estos aceros tienen la mejor resistencia a altas temperaturas y resistencia a la formación de escamas de los aceros inoxidables. Su resistencia a la corrosión suele ser mejor que la de los aceros martensíticos o ferríticos.

Los aceros del tipo 302, la aleación básica de los aceros austeníticos inoxidables, se ha modificado formando una familia de 22 aleaciones relacionadas como por ejemplo:

- a) 302. Aleación base para este grupo, se emplea para adornos, equipo para manejo de alimentos, cubiertas para aviones, antenas, resortes, productos arquitecturales y en loza.
- b) 301. Mayor cantidad de endurecimiento por trabajado mediante menor contenido de cromo y níquel, se utiliza en casos de alta resistencia y gran

- ductilidad como carros de ferrocarril, carrocerías para remolque y piezas estructurales para aviones.
- c) 202. Bajo níquel, para propósito general, equivalente al 302, el Ni parcialmente se sustituye por Mn.
  - d) 201. Bajo níquel equivalente al 301; el Ni se sustituye parcialmente por Mn tiene alta rapidez de endurecimiento por trabajado.
  - e) 302B. Más resistente a la formación de escamas que el 302 debido al contenido de Si, se utiliza para piezas de hornos, líneas inmóviles y elementos de calefacción.
  - f) 304L. Contiene un 0.03% de carbono como máximo.
  - g) 321. Contiene Ti evita precipitar al carburo de cromo durante la soldadura, se utiliza para severas condiciones de corrosión, se utiliza para equipos de proceso.

Estos fueron solo unos cuantos ejemplos de la interacción y la amplia variedad de aplicaciones en que se han utilizado los aceros austeníticos inoxidables.

La escasez de níquel en tiempos de emergencia ha sido un serio problema para los productores y consumidores de aceros inoxidables; el trabajo realizado para sustituir níquel por manganeso en el acero inoxidable dio lugar a la producción de los tipos 201 y 202.

#### *D) Aceros inoxidables endurecibles por Precipitación.*

Estos aceros generalmente se tratan con un recocido en acería y se surten en esa condición. Después de formados, se envejecen para alcanzar el valor en dureza y resistencia deseados. En general, tienen menor contenido de níquel, reduciendo de esta manera la estabilidad de la austenita. Estos aceros pueden tener también elementos como el cobre y aluminio, que tienden a formar precipitados aleados coherentes.

#### **ACEROS REFRACTARIOS.**

Los aceros refractarios son resistentes a la oxidación a temperaturas elevadas y por ello se usan en hornos, reformadores, etc. Algunos son similares a los aceros inoxidables pero otros tienen una cantidad más elevada de carbono así como de cromo (hasta 23% y níquel hasta 68%).

#### **ACEROS PARA HERRAMIENTAS.**

Las herramientas deben reunir cualidades que las hagan resistentes sin perder su dureza, filo, brío, etc. Aún bajo condiciones rudas de trabajo. Para su fabricación se utilizan aceros aleados con diversos elementos lo cual depende de su uso específico y del tratamiento térmico que se les aplique; los aleantes pueden ser: cromo, vanadio, tungsteno, molibdeno, y cobalto.

#### 5.4 SUPERALEACIONES

Se da el nombre de superaleaciones a los materiales debido a que muestran una resistencia mayor a altas temperaturas (1500 a 2000 °F) (815 a 1093 °C) que las aleaciones convencionales. Inclusive alguna de estas aleaciones se denominan "exóticas", debido a los altos costos de algunos de los elementos que se emplean.

Hay dos cualidades principales al desarrollar materiales para aquellas partes que funcionan a altas temperaturas: resistencia a la oxidación (problema de corrosión gaseosa) y la resistencia; cuando hacemos un ensayo de resistencia a altas temperaturas encontramos que, con un ensayo de tracción en caliente no obtenemos la información necesaria para evaluar la resistencia a altas temperaturas.

#### PROPIEDADES DE LAS SUPERALEACIONES TÍPICAS A ALTAS TEMPERATURAS:

Todas las aleaciones importantes tienen una estructura FCC basada en una combinación de níquel, hierro y cromo. Puede considerarse como una simple extensión de la región austenítica del diagrama ternario con composiciones más altas de níquel; el cromo es esencial para la resistencia a la oxidación, aunque no se lo añaden para obtener austenita. Así hemos explicado el porqué de los contenidos de hierro, níquel y cromo. El cobalto, que se utiliza para reemplazar parte del hierro y níquel se disuelve en solución sólida, con lo que aumenta la resistencia del material. El aluminio y el titanio tienen usos especiales para dar un precipitado fino denominado  $\gamma'$  (gamma prima). La estructura  $\gamma'$  es una solución sólida constitucional, en la cual los átomos de aluminio o de titanio ocupan las esquinas de la celda unitaria y los átomos de níquel los centros de las caras. El molibdeno aumenta la resistencia a la matriz en las superaleaciones y también forma carburo complejos que reducen la fluencia lenta o "creep". Este campo de las aleaciones, evoluciona rápidamente ya que se recompensa el desarrollo de aleaciones de un material moderadamente mejor. Por ejemplo se están utilizando algunas superaleaciones a las que se les adicionó 1.5% de hafnio. En otro proyecto se están solidificando direccionalmente álabes de turbina utilizando un campo de inducción para desarrollar el gradiente de temperatura deseado en el molde. Prácticamente todas las calidades se funden y solo se trabaja un número limitado. La razón es que con esta resistencia a la fluencia lenta tan grande es muy difícil el trabajo en caliente y la vida de las matrices es muy corta. También, algunas de las aleaciones tienen poca ductilidad, lo cual facilita su utilización pero no su laminación. El proceso de moldeo por cera perdida es el que se usa más ampliamente y es capaz de producir formas complejas.

#### 5.5 FUNDICIONES

Para tener una idea clara, tanto de la naturaleza de la fundición como de los aceros, es necesario considerar el equilibrio entre hierro elemental y el carbón. El hierro puro en su forma pura, tiene dos formas alotrópicas distintas: hierro  $\alpha$  (alfa) y

el  $\gamma$  (gamma). Esto sugiere cuatro fases sólidas, que originalmente se conocían como  $\alpha$ ,  $\beta$  (beta),  $\gamma$  y  $\delta$  (delta). Actualmente se está de acuerdo en que la fase  $\alpha$ , estable a bajas temperaturas, no cambia su estructura esencial aunque pierda sus propiedades magnéticas a  $768^{\circ}\text{C}$ , de manera que la forma  $\beta$  es hierro  $\alpha$  modificado. El hierro  $\gamma$ , que es estable entre  $910^{\circ}$  y  $1,400^{\circ}\text{C}$ , tiene una estructura cristalina diferente de la forma  $\alpha$  y diferente en mucho en cuanto a su acción solvente sobre el carbono y otros elementos de aleación.

El hierro  $\delta$  de altas temperaturas, estable entre  $1,400^{\circ}$  y el punto de fusión del metal, tiene la misma estructura que la variedad  $\alpha$ , y no hay ninguna razón para suponer que forme una fase especial. Por tanto, el hierro puro es estable como fase  $\alpha$  desde las temperaturas comunes hasta  $910^{\circ}$ , y nuevamente desde  $1,400^{\circ}$  hasta  $1,535^{\circ}$ , mientras que la fase  $\gamma$  solo es estable entre  $910^{\circ}$  y  $1,400^{\circ}$ . Los cambios de fase son comparativamente lentos, especialmente a medida en que disminuye la temperatura del metal, y es común encontrar que persisten ambas formas fuera de sus rangos críticos de temperatura.

Cuando se agregan otros elementos al metal duro, el efecto general es el cambio del rango de temperatura en el cual es estable la forma  $\gamma$ . El silicio restringe en forma muy aguda el rango de temperaturas, y un contenido mayor del 3% impide completamente la formación de hierro  $\gamma$  como se muestra en la figura 5.5.1. Por otra parte, el níquel aumenta el rango de temperaturas figura 5.5.2 y es difícil obtener aleaciones de níquel en forma  $\alpha$  con más del 10% de níquel. Casi todos los elementos aleantes disminuyen la velocidad a la cual la forma  $\gamma$  se transforma a la forma  $\alpha$  aunque no se afecte el equilibrio final.

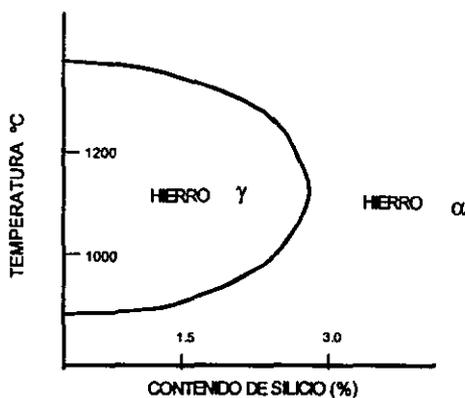


Figura 5.5.1 Diagrama de hierro-silicio

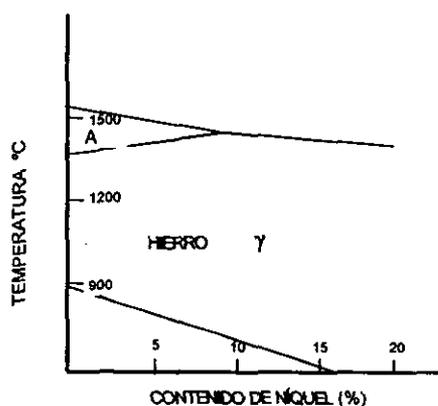


Figura 5.5.2 Diagrama hierro-níquel

Las aleaciones de manganeso que contiene más de un 10%, puede obtenerse fácilmente en una forma "austenítica" como se denomina normalmente a la forma gamma del hierro.

El carbón, que de los elementos que se agregan al hierro es el que más determina sus propiedades, tiene un efecto similar al del silicio en la "caída de  $\gamma$ ", lo cual puede apreciar en la figura 5.5.3. Este diagrama muestra toda la variación de mezclas en la que puede existir un compuesto sólido estable de hierro y carbono.

El límite superior para el carbono está dado por la composición del  $Fe_3C$ , carburo de hierro o "cementita". Esta aleación dura y quebradiza no forma solución sólida alguna con sus elementos constituyentes, y no se sabe que exista ningún compuesto más rico en carbono. La composición de la cementita corresponde al 6.7% de carbono, y todas las mezclas líquidas que contienen entre el 4.3% y este valor más alto, deposita  $Fe_3C$  como fase sólida al enfriar. Por lo tanto, la fase líquida se aproximará a la señalada por el punto B (eutéctico) a medida que baje la temperatura, y finalmente el residuo solidificará completamente al alcanzar la composición del eutéctico. El sólido así formado, tiene 48% de "autenita" y 52% de "cementita", y se le conoce como "ledeburita".

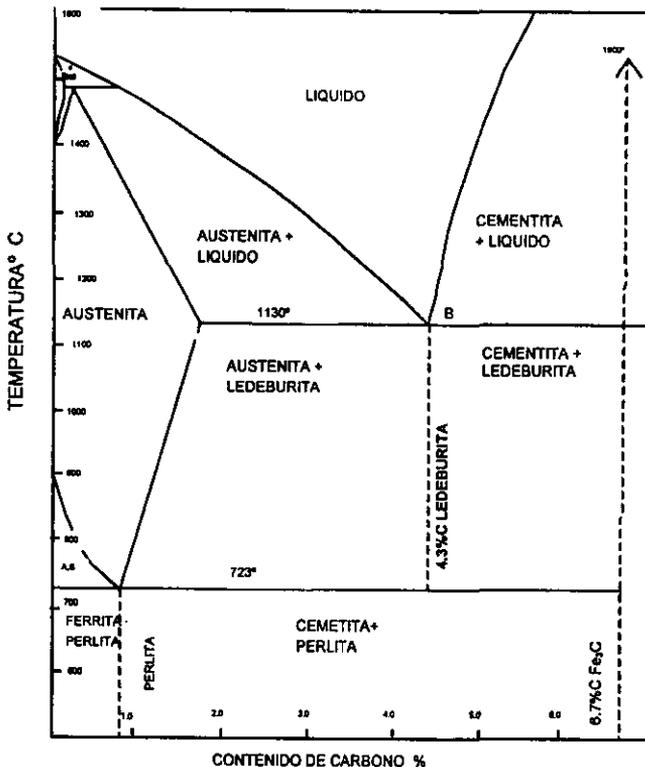


Figura 5.5.3 Diagrama de hierro-carbono

Del otro lado del eutéctico, con menos del 4.3% de carbono, las mezclas fundidas depositan "austenita" - una solución sólida de carbono de hierro  $\gamma$ , excepto para la parte con poco carbón (menos del 0.5% de C) que pasa por una fase transitoria de hierro  $\alpha$ . Nuevamente la composición del líquido residual tiende a correrse hacia la del eutéctico, pero en este caso la aleación puede solidificar completamente antes de llegar al punto final.

Como se puede ver en la figura 5.5.3, la austenita solo puede existir como forma estable con el carbono en solución, como una fase sólida homogénea, en las regiones con un contenido de carbono menor del 1.7%. Es una práctica establecida, definir todas las aleaciones con menos de 1.7% de carbono como "acero", y todas las que tienen más carbono, como "fundición". Las aleaciones que contienen menos de 0.1% son conocidas como "hierro batido", pero actualmente se les considera esencialmente como aceros con poco contenido de carbono. Los métodos de fabricación producen cierta inclusión de escoria que altera la resistencia a la corrosión, pero no en gran medida.

La solubilidad del carbono en el hierro  $\gamma$  decae constantemente a medida que disminuye la temperatura. La solubilidad en el hierro  $\alpha$  es muy pequeña a cualquier temperatura. Por lo tanto, todos los aceros simples de hierro carbono adoptan la forma austenítica a medida que solidifican y comienzan a enfriar. Esto es cierto aun para los aceros especiales de bajo contenido de carbono que se ha solidificado originalmente en una forma  $\alpha$  ya que la transformación es rápida a altas temperaturas, y un posterior enfriamiento ha llevado todo el sólido a la región de la "caída de  $\gamma$ ". Otro fenómeno se superpone a los cambios de temperatura: la formación gradual de carbono y ferrita a partir de cementita. Esta grafitación de la fundición puede desarrollarse a todas las temperaturas, y puede ser acelerada por la adición de otros elementos. Todas las fundiciones comerciales contienen grafito libre, ya sea como copos gruesos, como partículas finas o como "nódulos".

### LA ESTRUCTURA SOLIDA DE LA FUNDICIÓN

La fundición tiene un contenido de carbono que puede variar dentro de todo el rango posible, pero este carbono está presente como grafito, como cementita y en solución, asociado tanto con la forma  $\alpha$  como la  $\gamma$ . A medida que aumenta el contenido total, se separa más y más carbono como grafito, pero si el hierro está completamente libre de otros elementos, la mayor parte será retenida combinada. La impureza más común de cualquier hierro es el silicio, producido por reducción parcial de la escoria, y este elemento promueve en forma acentuada la formación de grafito. Al mismo tiempo, una solidificación rápida del metal fundido a temperaturas inferiores a las que se produce normalmente los cambios de fase, puede mantener al carbono en una forma combinada.

Por tanto, se deduce que las cantidades relativas de carbono libre y combinado están determinadas por la historia térmica previa y por el contenido en silicio, influyendo menos, generalmente los otros elementos. Una fundición en la que

ciertas secciones hayan sido enfriadas rápidamente, retendrá mucho más carbono combinado en estas partes que en las porciones enfriadas más lentamente. La mayoría de las fundiciones tendrán una superficie más o menos "enfriada", que consiste fundamentalmente en cementita y perlita, aun cuando el interior sea totalmente de grafito y ferrita. Estas dos variedades de fundición se conocen como "blanca" y "gris", debido a su apariencia en general. La fundición blanca perlítica es muy dura, y una aleación de esta forma sería demasiado quebradiza para el uso común. La fundición gris, con una estructura de ferrita, es lo suficientemente tenaz para los propósitos comunes, con buenas propiedades para trabajarla, pero las láminas de grafito actúan como celda de corrosión. La fundición gris ideal debe tener el grafito regularmente disperso en floculos o nódulos, esto se puede obtener fijando el contenido de carbono en alrededor de 3.5% y aproximadamente 1% de silicio en forma de ferro-silicio o siliciuro de calcio finamente pulverizado. Actualmente es común, para la construcción de todo equipo, especificar fundición de "alto rendimiento", ya que sus propiedades mecánicas mejoran en estas fundiciones. Sin embargo, desde el punto de vista químico, su utilización está basada en el incremento de la resistencia a todas las influencias corrosivas. Las inclusiones grandes de grafito forman un área catódica ideal, al tiempo que abren pequeñas grietas a lo largo de la superficies inter-granulares, aptas para la entrada de oxígeno o vapor.

Mientras el silicio es el agente más efectivo para promover la formación de grafito, el níquel actúa en el mismo sentido y a veces se le prefiere porque tiene solo un efecto sobre el complejo perlítico. Esta fundición con base níquel tiene la ventaja de poseer una estructura consistente, aunque varía el tiempo de enfriado. Si se incrementa más aún el contenido de níquel en el metal hasta un 4-5%, se estabilizará la forma austenítica de hierro y formada en la solidificación inicial. El enfriamiento rápido, característico de toda fundición, producirá un tipo especial de estructura de hierro conocida como "matensítica" y que es más importante para la elaboración de aceros en la fundición siendo esencialmente una solución sólida de carbón de hierro. Cantidades mayores de níquel pueden estabilizar completamente la forma autenítica, pero estas mezclas altamente aleadas son demasiado costosas para un uso general.

El cromo es el agente más efectivo para evitar la grafitación, y puede utilizárselo para contrarrestar el efecto del silicio. Desgraciadamente, tiende a entrar en solución como carburo duro, aunque todo en grafito residual se deposita como poros pequeños. Una combinación de 3% de Ni y 1% de Cr produce buenas fundiciones como una matriz perlítica estable que contiene grafito de grano muy fino. El cobre también da grafito fino, y tiene la ventaja de aumentar la fluidez del líquido cuando se lo adiciona en cantidades de hasta alrededor de 1.5%.

#### IMPUREZAS DE LA FUNDICIÓN

El término se utiliza en el sentido de "constituyentes indeseables", considerando que cualquier cosa, excepto el hierro y el carbono, son materiales extraños. El azufre es el elemento más indeseable, a pesar que estabiliza a la cementita. En las

superficies inter-granulares aparece un sulfuro ferroso de bajo punto de fusión, que será responsable del carácter quebradizo que tendrán las fundiciones, mientras que aumentará mucho la formación de grietas durante el proceso de colado. La buena calidad debe tener un contenido de azufre inferior al 0.1%. Los minerales con alto contenido de azufre se funden siempre con fundentes muy básicos para eliminar la cantidad presente, pero la eliminación final generalmente se lleva a cabo con la adición de manganeso, en forma de MnS insoluble y se ajusta el contenido de manganeso para dar un exceso de alrededor de 0.2%. El leve exceso evita la formación de grafito, pero el manganeso no es muy activo en este sentido, rara vez se utilizan cantidades superiores a las requeridas para la eliminación de azufre.

El fósforo no es tan dañino como el azufre, pero también forma eutécticos de bajo punto de fusión que contienen un fosfuro de hierro,  $Fe_3P$ , característicos. Éste no se segrega tan completamente como el compuesto del azufre, y se ha practicado la adición deliberada del fósforo para dar mayor fluidez en la colada, en el caso de fundiciones livianas. Éste se utiliza fundamentalmente en trabajos de ornamentación o para la producción masiva de cañerías de desagüe baratas y artículos similares. Una fundición para equipos químicos no debe tener un contenido de fósforo mayor del 0.2%, y debe ajustarse de acuerdo con esto la composición de la mezcla líquida. En este caso se requiere de una alta fluidez, debe logrársela mediante la adición de cobre.

Aparte de estos dos elementos, ninguno de los constituyentes de la fundición debe ser considerado como dañino. Un exceso de silicio por encima de la cantidad requerida para la producción de grafito, da una estructura débil y quebradiza a la ferrita residual, mientras que el exceso de muchos elementos aleantes puede producir reacciones perjudiciales. Normalmente ellos necesitan ser agregados deliberadamente a grandes costos, y es muy difícil encontrarse con tales mezclas en la fundición común.

### PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FUNDICIÓN

En los British Standards están establecidas las propiedades que deben esperarse de una fundición tipo; el número B.S. es el 1 452 de 1948. Se han establecido regulaciones para ensayo de resistencia a la tracción y para la tensión transversal de ruptura sobre barras cargadas. Se postulan siete grados de fundiciones, con resistencia y costos constantemente en aumento. La carga de ruptura aumenta desde 1750 a 4400 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los ensayos a la ruptura transversal presentan un cambio similar desde 3300 hasta 6700 Kg/cm<sup>2</sup>. Los valores para la deflexión antes de la fractura en esta clase se ruptura están también especificados. No se establece ninguna regla general para la dureza, y parecería que todos los ensayos de impacto son demasiado severos para las fundiciones aunque se ha sugerido un ensayo especial con una barra sin estalle. El límite de fatiga de una buena fundición gris es alrededor de la mitad de la resistencia máxima normal, mientras que el efecto de la temperatura comienza a ser notable aproximadamente a los 400 °C. La fundición normal no debe ser

**CAPITULO V**

sometida a tensiones a ninguna temperatura superior de los 500 °C. El peso específico varía desde 7.1 a 7.2 g/cm<sup>3</sup>, y la conductividad térmica de 40-43 Kcal h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>.°C<sup>-1</sup> ·m ambos medidos a temperatura ambiente.

**COMPOSICIÓN DE LAS FUNDICIONES**

Aunque no se han establecido composiciones tipo que aseguren las propiedades mecánicas mencionadas anteriormente, ciertas mezclas han mostrado características apropiadas. Los valores precisos varían de un fabricante a otro, pero el rango mostrado en el cuadro 5.5.1 cubre los usos típicos de una planta química.

Carbono		Si	P	S	Mn	Ni	Cr	USOS
Total	Combinado							
3.2	0.5	2.5	0.6	0.1	0.7	-	-	Concentración de ácido sulfúrico.
3.6	1.5	1.5	0.04	0.06	0.75	-	-	Fusión de sosa cáustica.
3.0	0.8	1.8	0.2	0.06	0.8	-	-	Carcasas de bombas resistentes.
3.0	2.8	0.5	0.4	0.15	0.9	-	-	Piezas de fundición blanca para molenda.
3.5	0.8	-	-	-	0.4	2.5	1.5	Envoltura martensítica de bolas de molino.s
2.9	-	1.5	-	-	0.8	1.5	-	Hierro- Ni de gran resistencia. "Ni-Tenay".
3.3	-	1.2	-	-	0.8	3.0	0.5	Buenas propiedades para maquinado.
3.0	-	1.5	< 0.08	< 0.08	0.8	2.0	-	Marmitas pesadas.
3.5	-	0.5	Cu 2.5	-	-	-	0.25	Buena resistencia a la corrosión.

**Cuadro 5.5.1 Usos típicos de las fundiciones**

## **CAPITULO VI**

## TRATAMIENTO TÉRMICO DE LAS ALEACIONES FERROSAS

La definición de tratamiento térmico dada en el Metals Handbook es: Una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados aplicadas a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que producirá propiedades deseadas.

Los tratamientos térmicos son procesos que modifican las propiedades mecánicas de los metales por un cambio adecuado de la estructura metalúrgica. Los tratamientos térmicos no son iguales para todos los metales y con frecuencia las operaciones que se aplican a cada uno de ellos para endurecerlos, a otro metal lo suaviza. De esta manera, un tratamiento térmico pudiere ser para darle más resistencia y endurecimiento a un metal, relevando esfuerzos internos o sólo para endurecimiento de su superficie o para mejorar su maquinabilidad por esferoidización.

Los tratamientos térmicos clásicos que se aplican a las aleaciones ferrosas son:

- Recocido
- Normalizado
- Temple
- Revenido
- Austemple
- Martemple
- Nitrurado.

### 6.2 DIAGRAMAS T.T.T.

Los diagramas T.T.T. (significa Temperatura-Tiempo-Transformación, también llamadas curvas S ó curvas transformación isotérmica T. I.), se puede resumir convenientemente la transformación de la austenita en un acero dado. Se emplean para predecir las estructuras metalográficas (estructura que ocurren bajo condiciones de no-equilibrio) y las propiedades mecánicas de las muestras de acero templado desde la temperatura de austenización y mantenidos luego a temperatura inferior a 723°C (dependiendo del contenido de carbono y de los aleantes). Estos diagramas indican también, el tiempo necesario para que la austenita se transforme a una temperatura que se mantenga constante. De esta forma, la información que proporcionan los diagramas T.T.T., sólo es válida para reacciones isotérmicas pero no es cuantitativamente aplicable al temple y recocido ordinarios, porque en ello el enfriamiento es continuo y las descomposiciones se producen en un intervalo de temperatura.

## CAPITULO VI

Cuando en el enfriamiento continuo las velocidades son superiores a unos 140°C/s, no se forma perlita y se asegura la transformación total en martensita al alcanzarse las temperaturas bajas. Con enfriamientos a velocidades inferiores a los 34°C/s toda la austenita tiene tiempo de descomponerse en perlita y no se origina martensita.

El diagrama T.T.T. consta de dos áreas que corresponden a comportamientos distintos de la austenita enfriada instantáneamente a una temperatura en la que este material es metaestable. Arriba de la temperatura  $M_s$  la austenita experimenta una transformación reconstructiva, en la cual el proceso de crecimiento involucra la reorganización de la fase inicial (austenita) a una fase o fases completamente distintas (ferrita y  $Fe_3C$ ) a una o ambas de las fases estables, la ferrita y un carburo similar al  $Fe_3C$ . Existen varias regiones de transformación como puede verse en la Fig.(6.1.1.) presentada. Debajo de la temperatura  $M_s$ , la austenita se transforma desplazativamente para formar martensita. La magnitud de la reacción aumenta con el subenfriamiento debajo de  $M_s$ , pero a una temperatura dada. Por ejemplo cuando se enfría bruscamente la austenita de 850° a 300°C, se forma 50% de martensita durante el enfriamiento entre la temperatura  $M_s$  y 300°C. Si se mantiene entonces a esta temperatura, prácticamente no se formará martensita.

Si el contenido de carbono no es el valor eutectoide 0.8 P/o C, puede ocurrir una reacción proeutectoide (anterior a la reacción eutectoide) cuando se enfría la austenita desde unos 900°C. En el acero de 0.4 P/o C de la Fig. (6.1.1) la reacción proeutectoide produce la fase ferrita. Para contenidos de carbono mayores que el eutectoide (aceros hipereutectoides) puede formarse cementita proeutectoide durante el enfriamiento lento como una capa frágil objetable en las fronteras originales del grano de austenita. Cuando las herramientas de acero al alto carbono, se enfrían bruscamente durante su tratamiento térmico se evita esta reacción proeutectoide. En el tratamiento térmico de los aceros hipoeutectoides (con menos carbono que el eutectoide), la ferrita proeutectoide puede formar una indeseable red de frontera si la rapidez de enfriamiento es demasiado lenta.

La formación isotérmica de la austenita a temperaturas comprendidas en el intervalo de aproximadamente 350° a 55°C produce el microconstituyente bainita. Como sucede con la perlita, la bainita es una mezcla de ferrita y  $Fe_3C$ , pero en vez de haber crecimiento cooperativo de las dos fases, se inicia este por la formación de placas de ferrita en los aceros de contenido moderado de carbono. La fase  $Fe_3C$  se forma entonces paralelamente a las placas de ferrita en los aceros de contenido moderado de carbono, o bien dentro de éstas. Como lo indican los valores de dureza Rockwell (Rc) en el diagrama TTT de la Fig.(6.1.1), la dureza de un acero dado aumenta a medida de que se forma el producto de transformación a temperaturas sucesivamente menores, en el orden: ferrita proeutectoide, además de la reducción del espaciamiento.

Entre las regiones de carburo, es el incremento correspondiente de la densidad de las dislocaciones.

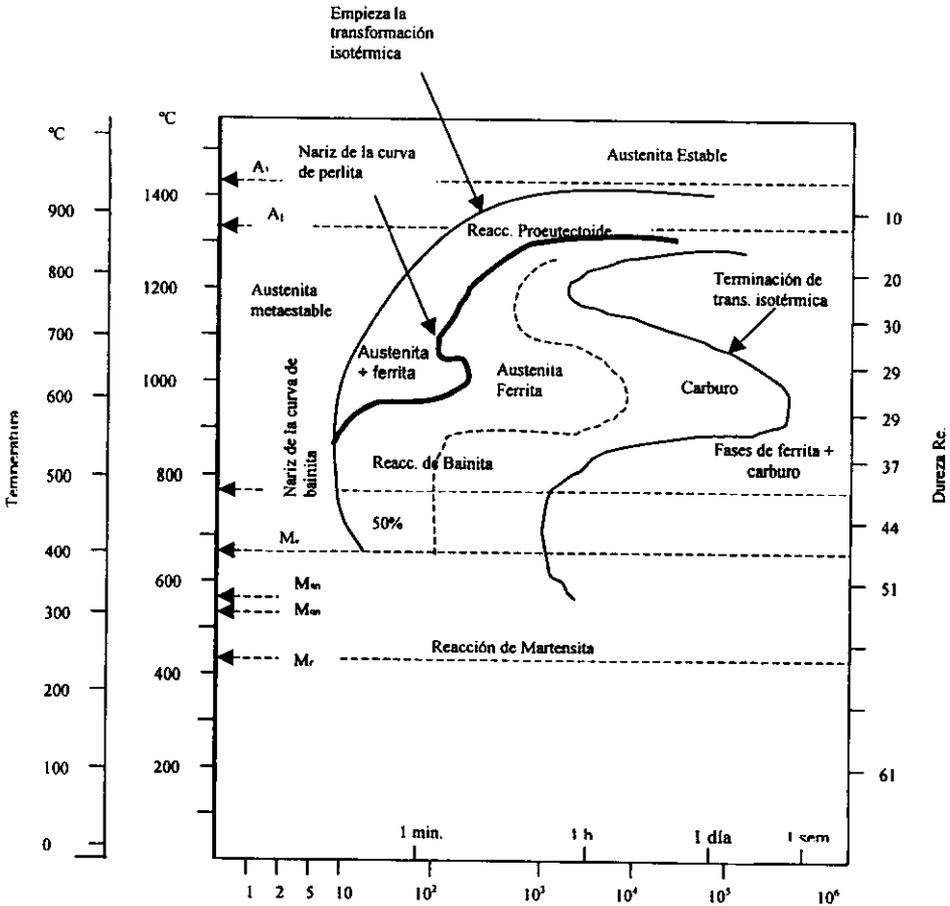


Figura 6.1.1. Diagrama Tiempo-Temperatura-Transformación para un Acero 4140

### 6.3 DIAGRAMAS ENFRIAMIENTO CONTINUO

Las curvas de enfriamiento continuo también llamadas curvas T.E, se parecen a las TTT, pero como su nombre lo indica, se refiere a la descomposición de la austenita en un enfriamiento continuo y no a temperatura constante (aunque la mayoría de los tratamientos térmicos incluyen la transformación a enfriamiento continuo). La curva de enfriamiento se determina experimentalmente colocando un termopar en un lugar definido a una muestra de acero y midiendo la variación de la temperatura con el tiempo. De esta forma, aunque las curvas de enfriamiento se parezcan a las curvas TTT, teóricamente, las curvas de rapidez de enfriamiento no deben sobreponearse en el diagrama T.I. como se muestra en la siguiente Fig.(6.2.1)

## CAPITULO VI

Las curvas de enfriamiento están numeradas del 1 al 7 y cada una representa diversas velocidades de enfriamiento.

La curva 1 tiene la más baja velocidad de enfriamiento, empieza su transformación en  $X_1$  y la completa en  $X_1'$ . Aunque el cambio de temperatura durante la transformación fue pequeño, el tiempo de transformación fue relativamente grande. La estructura del material transformado es perlita gruesa (material suave y dúctil) y ésta podrá retener su estructura a medida que sea enfriada de  $X_1'$  hasta la temperatura ambiente independiente de la velocidad de enfriamiento. La curva 1 es típica de un recocido convencional. La curva 2 es también un proceso de recocido. Sin embargo el material es primero enfriado más rápidamente hasta la temperatura seleccionada,  $X_2$  y primero dentro del área de transformación con un pequeño cambio de temperatura. Como resultado de esto se obtiene algo de estructura perlítica fina distribuida uniformemente.

La curva 3 es típica de lo que se llama normalización la cual se realiza a una temperatura algo mayor que para un recocido (curva 1). La estructura resultante es una perlita media. La curva 4 tiene velocidad de enfriamiento mayor que la curva 3, la cual produce una estructura perlítica fina.

La curva 5 es de mucho interés porque resulta una microestructura mixta y tiene una pendiente de 25% con respecto a la línea A+F+C dentro de la región de transformación. En  $X_5$  empieza a transformarse la perlita fina y completa su transformación en  $X_5'$ . En este punto, sólo el 25% de la austenita inestable ha sido transformada a perlita fina. Queda un 75% a transformarse. Una inspección del punto  $X_5'$  debajo de la línea sombreada indica que la curva de enfriamiento es línea de corte (no mostradas en el diagrama) con menos de 25% de perlita.

Por lo tanto no se tendrá más transformación abajo del punto  $X_5'$  hasta que el enfriamiento llegue a  $X_5''$  en cuyo punto el 75% de la austenita empezará a convertirse en martensita completándose su cambio en la línea Mf. La estructura resultante consiste de 25% de perlita dentro de una matriz martensita de 75%.

La curva 6 representa un templado extremadamente rápido en la que muestra que la microestructura total es martensítica. La curva 7 que es tangente a la rodilla de la curva de transformación, representa la velocidad de enfriamiento límite para producir estructura martensítica completa. Esta velocidad límite de enfriamiento es la velocidad crítica de enfriamiento. Las curvas de enfriamiento 4,5,6 y 7 generalmente se usan en el revenido para la relevación de esfuerzos internos.

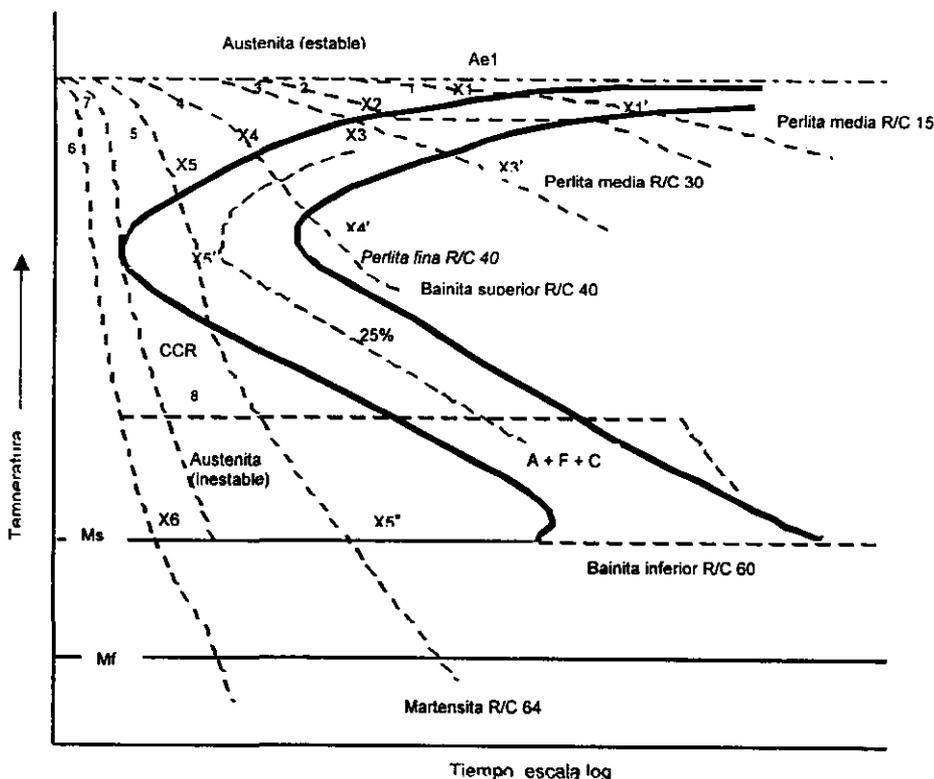


Figura 6.2.1 Curva de enfriamiento continuo sobrepuesta en un diagrama hipotético T-Tiempo para un acero eutectoide. La porción hanchurada indica la transformación

Del diagrama T-Tiempo, es posible derivar otro diagrama que muestre la transformación bajo enfriamiento continuo (diagrama T-Temperatura). La siguiente Fig.(6.2.2), muestra el diagrama T-Temperatura para un acero eutectoide sobrepuesto en el diagrama T-Tiempo del que se derivó. La consideración del diagrama T-Tiempo en cuanto a su localización de las líneas del diagrama T-Temperatura muestra que la nariz se movió hacia abajo y a la derecha por enfriamiento continuo. La rapidez crítica de enfriamiento tangente a la nariz del diagrama T-Temperatura se muestra como 250°F/s esta rapidez es un poco más lenta que la indicada por el diagrama T-Tiempo; por lo tanto el uso de los intervalos de tiempo de la nariz isotérmica para determinar las propiedades de enfriamiento necesarias conducirá a algún error; sin embargo, el error estará del lado seguro indicando la rapidez de enfriamiento ligeramente mayor que la necesaria para formar solo martensita. Nótese la ausencia de una región austenita a bainita en el diagrama T-Temperatura. El intervalo de bainita está cubierto por la nariz sobresaliente de perlita, y la bainita no se forma en una cantidad apreciable a enfriamiento continuo ordinario. Esta situación suele ser diferente para aceros de aleación.

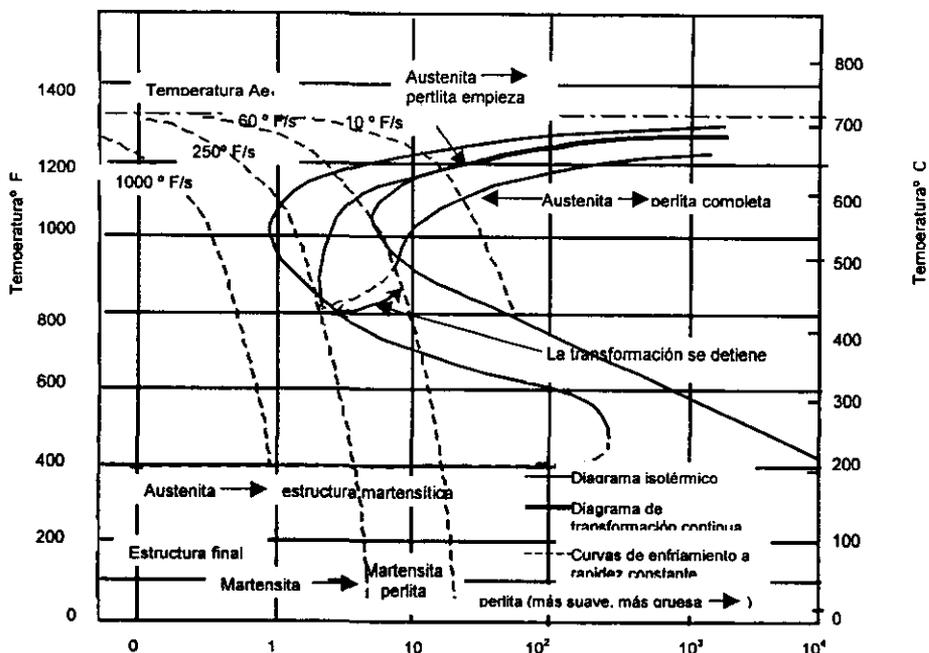


Figura 6.2.2 Diagrama de transformación a enfriamiento continuo (T-E) derivado del diagrama de transformación isotérmica para un acero al carbono eutectoide

La siguiente Fig. (6.2.3). Muestra el diagrama T-E para un acero de aleación triple. Este es un acero hipoeutectoide, de modo que existe un área adicional, austenita a ferrita, que no estaba presente en el acero eutectoide. En este acero de aleación, la zona perlítica está relativamente lejos hacia la derecha y no abarca la región de bainita. De este modo con una rapidez de enfriamiento tangente a la nariz superior (2100°F/ hr) no es la crítica de enfriamiento. La rapidez de enfriamiento tangente a la nariz interior o rodilla del diagrama (54000°F/ hr) tendría que excederse para formar sólo martensita.

Los estudios isotérmicos han ayudado bastante a clasificar la microestructura de acero transformado durante un enfriamiento continuo, y con el diagrama T-I es posible ver en que etapa del ciclo de enfriamiento se forman las diferentes estructuras.

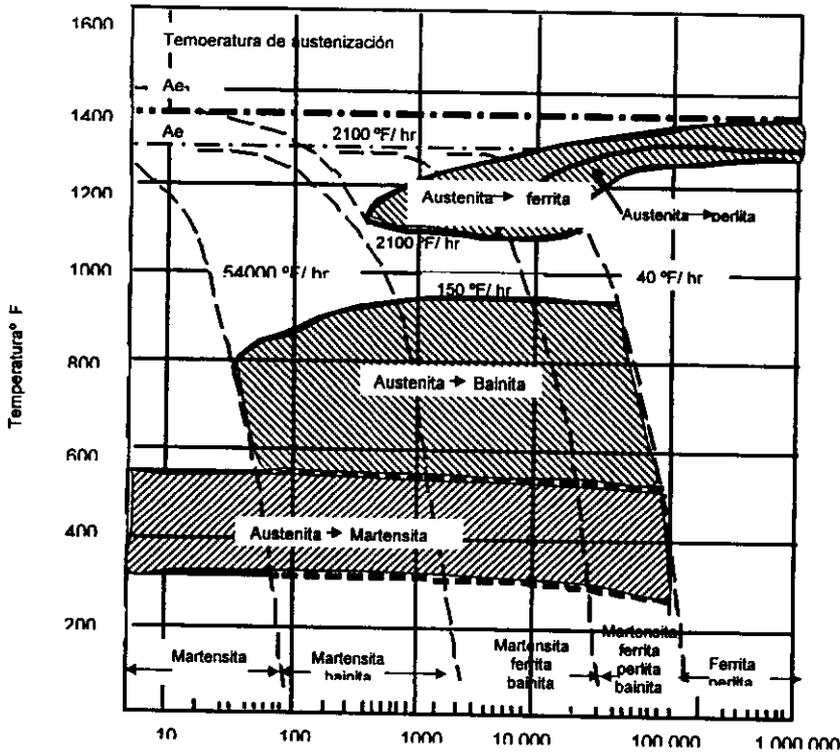


Figura 6.2.3 Diagrama T-E de un acero de triple aleación (4340) 0.42% de carbono, 0.78% de manganeso, 1.79% de níquel, 0.80% de cromo, 0.33% de molibdeno.

## 6.4 RECOCIDO

Es un proceso que involucra calentamiento y enfriamiento que se usa para inducir ablandamiento, es decir, es un proceso que consiste en calentar el acero a la temperatura adecuada y luego enfriar lentamente a lo largo del intervalo de transformación preferentemente en el horno o cualquier otro material que sea buen aislante al calor.

Los aceros son recocidos con el fin de reducir la dureza, mejorar la maquinabilidad, facilitar el trabajo en frío, producir una deseada microestructura u obtener propiedades mecánicas, físicas o químicas deseadas.

En el caso de las aleaciones ferrosas se entiende por recocido, cuando no se hacen otras aclaraciones, a un recocido completo. Se define como recocido completo a una austenitización seguida de un enfriamiento lento a través del rango de transformación.

El termino de recocido también se usa para cubrir tratamientos en los que se intente enfriar el grano, eliminar esfuerzos, alterar propiedades físicas o mecánicas,

## CAPITULO VI

producir una microestructura definida, mejorar las propiedades eléctricas y magnéticas, mejorar el maquinado y eliminar gases.

Los recocidos dependen enteramente de dos factores:

- A) La formación de la austenita
- B) La subsecuente transformación de la austenita a altas temperaturas subcríticas.

Cuando más cuidadosamente se controlan estos factores, mejor resulta el recocido.

La formación de la austenita es simple. Los aceros forjados o laminados consisten casi exclusivamente de ferrita y carburos en mezcla, que varían mucho según la composición del acero, la temperatura final y las condiciones de enfriamiento. Todas estas estructuras pueden ser convertidas en austenita, calentando al acero a una temperatura por encima de la temperatura crítica. Esta temperatura se llama de austenización.

En los aceros hipereutectoides los carburos no se disuelven a bajas temperaturas de austenización sino que tienden a aglomerarse.

En algunos aceros hipoeutectoides como el acero inoxidable 430 y en muchos aceros hipereutectoides tales como los aceros de alta velocidad, la estructura nunca es completamente homogénea sino que está formada siempre por austenita y ferrita o austenita y carburos.

Cuando más homogénea es la estructura del acero austenizado la estructura del acero recocido será más laminar y cuanto menos homogénea es la estructura del acero en el estado austenizado, más esferoidal será la estructura del acero recocido.

Si la austenita se transforma a temperaturas justo por debajo de la temperatura crítica, en el orden de  $15^{\circ}\text{C}$ , el producto será carburos esferoidales gruesos o perlita laminar gruesa, dependiendo de la composición del acero y la temperatura a la cual la austenita fue calentada. El producto formado justo por debajo de la temperatura crítica es muy blando.

En los aceros hipoeutectoides, algo de ferrita se separa de la austenita durante el enfriamiento lento a la temperatura de transformación antes de que la ferrita y el carburo se separen.

Diferentes combinaciones entre microestructura y dureza son importantes si se quiere obtener buena maquinabilidad. Por ejemplo, un acero 5160 parcialmente esferoidal produce mejores superficies maquinadas que el mismo acero en una condición de estructura perlítica y de gran dureza.

En la operación de recocido de aceros forjados, la temperatura de austenización efectiva es la temperatura de terminación del forjado y no la temperatura de calentamiento.

El recocido es habitualmente el único tratamiento que se da a muchos aceros colados. Los aceros de baja aleación son menos recocidos que los aceros al carbono.

Las hojas de aceros al carbono, laminadas en frío son recocidas a temperaturas subcríticas para ablandar el material para un subsecuente trabajo en frío. Este tipo de recocido llamado recocido en proceso, implica la recristalización del acero

trabajado en frío a temperaturas entre la temperatura de recristalización y la temperatura crítica más baja, seguida de un enfriamiento lento.

La dureza del acero depende mucho de la temperatura y de la duración del recocido y de la cantidad de deformación previa por laminado en frío.

Las temperaturas de recocido máximas están gobernadas por el espesor de las láminas, la rugosidad de la superficie, la textura y por la cantidad de trabajo en frío previo.

## **6.5 NORMALIZADO**

El normalizado es definido como un calentamiento a una temperatura conveniente, por encima del rango de transformación, y su enfriamiento en el aire hasta una temperatura suficientemente por debajo del rango de transformación.

Para una buena normalización se requiere:

- a) Que la pieza tratada sea calentada uniformemente a una temperatura suficientemente alta para alcanzar la transformación completa de la ferrita y cementita a austenita.
- b) Que permanezca a esta temperatura un tiempo suficientemente largo para alcanzar uniformidad de temperatura a través de toda su masa.
- c) Que se permita el enfriamiento en aire quieto de manera uniforme.

En sí el normalizado es un proceso de ablandamiento, que se efectúa calentando el acero aproximadamente a 100°F por encima de a la temperatura crítica superior (As ó Acm) seguida por un enfriamiento en aire quieto hasta la temperatura ambiente. El propósito de la normalización es producir un acero más duro y más fuerte que el obtenido por recocido total, de manera que para algunas aplicaciones la normalización puede ser un tratamiento térmico final. Para acero hipereutectoides es necesario calentar por la línea Acm a fin de disolver la red de cementita. La normalización también puede emplearse para mejorar la maquinabilidad, modificar y refinar las estructuras de piezas de fundición, refinar el grano y homogeneizar la microestructura para mejorar la respuesta en las operaciones de endurecimiento. El incremento de la rapidez de enfriamiento por el aire cuando se compara con el enfriamiento por horno, afecta en varias formas la transformación de la austenita y de la microestructura resultante. Como ya se enfría en condiciones de equilibrio, el diagrama hierro-carburo de hierro no puede utilizarse para predecir las proporciones de ferrita y perlita proeutectoide o cementita y perlita proeutectoide que existirán a temperatura ambiente. Hay menos tiempo para la formación de la constituyente proeutectoide; en consecuencia habrá menos ferrita proeutectoide en los aceros normalizados hipoeutectoides y menos cementita proeutectoide en los aceros hipereutectoides en comparación con los aceros recocidos.

Para los aceros hipereutectoides, la normalización reducirá la continuidad de la red de cementita proeutectoide, y en algunos casos puede eliminarse por completo. Como la presencia de la red de cementita redujo la resistencia de los aceros

## CAPITULO VI

recocidos hipereutectoides, los aceros normalizados deben mostrar un aumento en resistencia.

Aparte de influir la cantidad de constituyente proeutectoide que formará, la mayor rapidez de enfriamiento en la normalización también afectará la temperatura de transformación de la austenita y la fineza de la perlita. En general mientras más rápido sea el enfriamiento menor será la temperatura de transformación de la austenita y más fina será la perlita.

La Fig.(6.4.1) muestra la diferencia en espaciamiento de las placas de cementita en la perlita entre recocido y normalizado. La ferrita es más suave en tanto que la cementita es más dura.

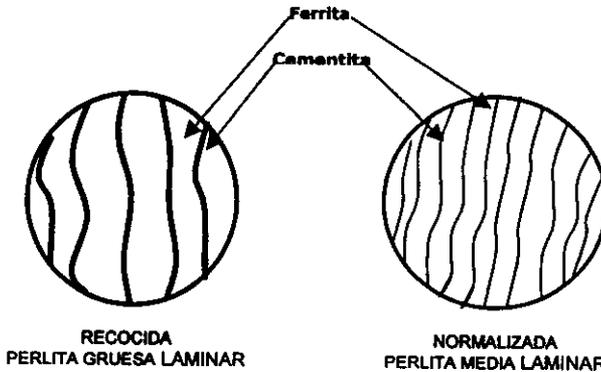


Figura 6.4.1 Diferencia en el espaciamiento de las placas de cementita en la perlita entre recocido y normalizado

En el caso de perlita normalizada media, las placas de cementita más próximas entre sí tienden a endurecer la ferrita de modo que no cederá tan fácilmente, aumentando así la dureza. Si la perlita recocida gruesa tiene una dureza Rockwell C 20 aproximadamente. El enfriamiento fuera del equilibrio también cambia el punto eutectoide hacia un contenido de carbono más alto en aceros hipereutectoides. El efecto neto es que la normalización produce una estructura de perlita más fina y más abundante que la obtenida por recocido, lo cual resulta un acero más duro y más fuerte.

Sin embargo, aunque el recocido, y la normalización pueden emplearse para mejorar la maquinabilidad, el proceso que se utilice dependerá del contenido de carbono.

Un normalizado puede ser empleado en cualquiera de las siguientes funciones:

- Refinar el grano y homogeneizar la microestructura para mejorar la respuesta del acero en una operación de endurecimiento.
- Mejorar las características de maquinabilidad del acero.
- Modificar y refinar las estructuras dendríticas de colada.
- Proveer las propiedades mecánicas deseadas.

## **CAPITULO VI**

El normalizado de aceros hipereutectoides puede inducir la formación de cementita a los límites de grano, causando un deterioro en las propiedades mecánicas.

Aceros que contengan menos de 0.20% de carbono no son tratados generalmente por normalización. Sin embargo, los aceros de medio y alto carbono son a menudo revenidos luego de normalizados para obtener propiedades específicas tales como baja dureza, o para ser sometidos a un estiramiento, laminado o maquinado.

La normalización de aceros aleados de forja, de laminación o de colada, se usa como un acondicionamiento previo al tratamiento térmico final.

Los aceros 3310 y 4320 son normalizados a temperaturas superiores a las de carburización, para minimizar la distorsión y para mejorar las características de maquinado.

Cuando los productos son terminados en frío, con recocidos subcríticos altos entre pasos, algo de esferoidización ocurre. La normalización elimina la esferoidización y restaura la estructura perlítica benéfica para la maquinabilidad en aceros al carbono de bajo y medio carbono y en aceros aleados.

Por laminado en caliente a temperaturas por encima de la temperatura superior de transformación, las láminas presentan granos de ferrita equiaxiales y uniformes. Si parte de la operación de laminado en caliente se realiza cuando el acero se ha transformado parcialmente en ferrita, los granos de ferrita deformados recrystalizarán y formarán zonas de ferrita de grano grueso anormal.

### **6.6 TEMPLE**

Es un enfriamiento rápido de un metal que está a temperatura elevada mediante el rociado de un medio adecuado para efectuar el temple hasta el incremento de la dureza propuesta. Es decir, en este proceso, se calienta este metal para convertirlo en austenita y luego enfriarlo bruscamente para cambiarlo a la dura martensita (aunque frágil). Si sólo ciertas partes de la pieza van a ser endurecidas entonces debe usarse un temple diferencial.

El temple de un acero es el enfriamiento rápido a partir de la temperatura de austenitización. Esto se realiza habitualmente por inmersión de la pieza en agua o aceite y a veces se usa aire forzado.

La efectividad del temple depende de las características de enfriamiento, del medio de temple, así como de la posibilidad del acero a ser endurecido. Los resultados pueden ser variados dependiendo del acero o del medio de temple o la agitación o la temperatura del medio.

Varios factores están implicados en el mecanismo de temple:

- a) Condiciones internas de la pieza que afectan la transmisión del calor hacia la superficie.
- b) La superficie y otras condiciones externas que afectan la remoción del calor.
- c) El potencial de remoción de calor del fluido de temple a temperaturas y presiones normales de fluido
- d) Cambios en el potencial de extracción de calor del fluido, debido a condiciones no constantes como agitación, temperatura y presión

### 6.7 REVENIDO

El revenido de los aceros o aleaciones ferrosas comprende el calentamiento de un acero previamente endurecido o normalizado hasta una temperatura por debajo del rango de transformación, una permanencia a esa temperatura y un enfriamiento a una velocidad conveniente. Todo esto con miras a aumentar su ductilidad y su tenacidad.

Para comprender la razón para recalentar (revenir) el acero templado, se considera brevemente la naturaleza de la martensita. Cuando se enfría hierro desde su condición austenítica (FCC), se transforma a la condición ferrítica (BCC) y es relativamente blando. Sin embargo, si la austenita contiene una cantidad consistente de carbono, la fase estable a la temperatura ordinaria no es sólo ferrita con baja solubilidad para el carbono sino es una mezcla de ferrita y  $Fe_3C$ . Por lo tanto, cuando la austenita rica en carbono se enfría con la suficiente rapidez para que no pueda ocurrir una transformación reconstructiva a perlita o bainita, la austenita experimenta una transformación desplazativa a martensita, al pasar a la temperatura por el intervalo comprendido entre  $M_s$  a  $M_f$ . En esencia cada átomo de hierro de la estructura reticular FCC intenta desplazarse una fracción de la red hasta la posición correspondiente a la estructura BCC. Los átomos de carbono interfieren, y por lo tanto, la estructura de la martensita (tetragonal centrada en el cuerpo) es ligeramente distinta a la BCC. Los átomos de carbono atrapados en la martensita explican la dureza de ésta, pero también hacen que sea frágil. Es decir, este aumento en ductilidad generalmente se obtiene a costa de la dureza o de la resistencia.

En general, el objetivo que se persigue con el tratamiento térmico de revenido es disminuir la fragilidad de la martensita y eliminar también cualquier esfuerzo interno producido por la contracción térmica desigual que ocurre durante el enfriamiento brusco.

La microestructura y las propiedades mecánicas de un acero revenido dependen de la temperatura y el tiempo de revenido.

La principal función de los elementos de aleación en un acero es aumentar su templabilidad, en el revenido el efecto de los aleantes es retardar la velocidad de ablandamiento. Así, los aceros aleados requieren de mayor temperatura de revenido que los aceros al carbón para alcanzar una dada dureza en un tiempo dado.

Los aceros pueden ser revenidos al aire en hornos ya sean de piso o continuos, o en baños de sales, baños de aceite, baños de metales fundidos o por inducción.

### 6.8 OTROS TRATAMIENTOS TERMICOS

**AUSTEMPER:** Es un proceso de endurecimiento donde la microestructura resultante es dura y tenaz (bainita) y no se tiene la necesidad del revenido. En este proceso el acero es enfriado arriba de la línea  $Ae_3$  (ver fig. 6.7.1) mediante un templado rápido en un baño de sal fundida hasta una temperatura justo arriba de  $M_s$ . Mientras se permanezca el baño el acero, es isotérmicamente transformado en bainita, después de lo cual, se le deja enfriar en aire. La bainita resultante es desde

luego dura, pero no tan tenaz como la martensita. El proceso por lo general, se aplica a piezas pequeñas.

**MARTEMPER:** El acero es templado (por lo regular en un baño de sal fundida) a una temperatura ligeramente mayor a  $M_s$ . Este permanece en el baño, hasta que todas las secciones transversales del acero estén a la temperatura del baño. Después se saca el acero del baño, se deja enfriar en aire hasta que se forme la martensita, y después es revenida como se muestra en la siguiente Fig.(6.7.1).

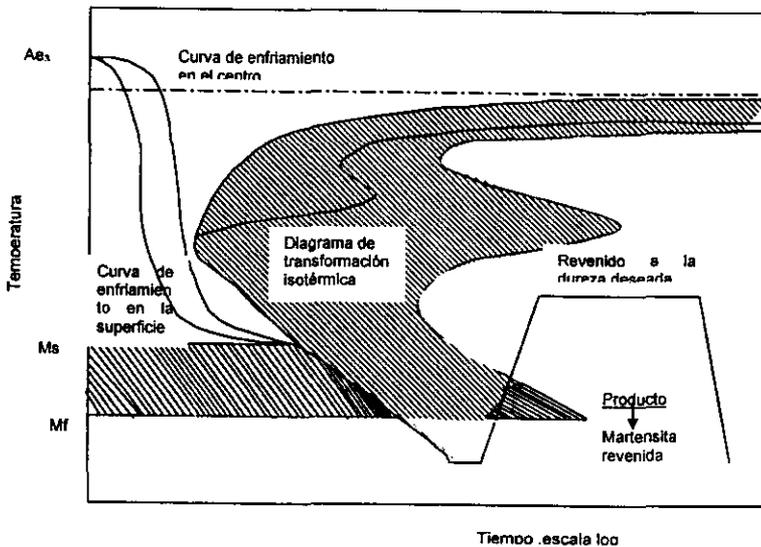


Figura 6.7.1 Diagrama esquemático de transformación que muestra el austenizado por templado.

La finalidad del martemper es prevenir la distorsión y cualquier tendencia a producir agrietamiento por templado, las piezas grandes de acero que deban templarse a durezas altas están propensas a quedar con estas características indeseables. Si la velocidad del templado no es lo suficientemente rápida, pudiera no pasar por completo "la rodilla", con el resultado de tener algo de bainita en la estructura final. Sin embargo, la distorsión y tendencia a agrietarse serán grandemente minimizadas.

**ESFEROIDIZACION:** Es un proceso de calentamiento o enfriamiento que produce un carburo de forma globular o esférica. La esferoidización para aceros de bajo carbón se efectúa con objeto de obtener ciertos requisitos de resistencia antes de un subsecuente tratamiento térmico. Los aceros de alto carbón son esferoidizados para mejorar la maquinabilidad, especialmente en operación de cortado continuo,

## **CAPITULO VI**

---

tales como tornos y en maquinas para hacer roscas. Los aceros de herramientas también pueden ser esferoidizados. Esto se hace calentándolo hasta una temperatura ligeramente superior a una temperatura crítica manteniéndolo en esta temperatura mediante un periodo de tiempo y después se le deja enfriar en el horno. La esferoidización tiende también a mejorar la resistencia a la abrasión y esto es deseable cuando el material va a ser fuertemente trabajado en frío (por ejemplo, extrusión, flexión, estirado o acortado).

**NITRURACIÓN:** Es un proceso en el cual las piezas ya maquinadas y tratadas térmicamente son coladas en una atmósfera de nitrógeno dentro de una caja hermética al aire y calentada, de 950-1000°F. Después de un periodo de exposición al amoníaco se le deja enfriar lentamente al acero. La superficie es endurecida por el nitruro de hierro, el cual es formado al soltarse el nitrógeno y combinarse con el hierro. Como resultado de lo anterior, no se requiere del templado y por lo mismo los aceros nitrurados no están propensos a torcerse. La nitruración se aplica a ciertos aceros de aleación que contienen elementos tales como aluminio, cromo, molibdeno o vanadio. Estos aceros aleados nitruran mejor que los aceros al carbón.

La nitruración produce una superficie extremadamente dura y es excelente para resistir el desgaste. El proceso tiene efectos benéficos sobre el esfuerzo de fatiga de la pieza tratada.

La nitruración tiene algunas desventajas: el costo elevado de material, el procedimiento es más crítico que para otros, el recocido de las piezas antes de la nitruración y la limitación de maquilado a sólo esmerilado.

Algunas aplicaciones típicas para nitruración son levas, árbol de levas, camisas interiores de cilindros y bombas, engranes, espigas, pernos de pistones, pistones, ejes de bombas, asientos de válvulas, piezas con ranuras o planos, placas sujetas a desgaste, rodillos para estirado de alambre etc.

## **CAPITULO VII**

## ALEACIONES NO FERROSAS

Como se menciono en capítulos anteriores las aleaciones en general, se clasifican en ferrosas y no ferrosas.

Las aleaciones no ferrosas están constituidas por todas las aleaciones cuyo metal básico es diferente del hierro. Aunque el volumen de su producción de todas ellas es menor que el de las aleaciones ferrosas, es indiscutible que son indispensables en aplicaciones específicas.

Las propiedades de una amplia gama de aleaciones no ferrosas pueden entenderse en términos de sus estructuras.

Los materiales trabajados en las aleaciones de aluminio pueden dividirse en dos grupos; los materiales de una fase, que se hacen más resistentes por el endurecimiento por trabajo, y las aleaciones polifásicas, que se endurecen por el envejecimiento y también pueden endurecerse por trabajo o por solución sólida. Las aleaciones para fundiciones se hacen más resistentes endureciéndolas por envejecimiento o controlando su composición para producir grandes cantidades de una fase dura dispersa.

Las aleaciones de magnesio son similares, pero las de una fase no son tan dúctiles debido al deslizamiento limitado de la estructura hexagonal.

De las aleaciones de cobre se obtiene una gran ductilidad en el metal puro y en las aleaciones de una fase. Las aleaciones polifásicas pueden endurecerse por envejecimiento o hacerse más resistentes por una reacción de martensita.

Considerando que los metales puros son 80 y eliminando el hierro que ya se trató por ser el elemento básico de las aleaciones ferrosas, es evidente que puede haber 79 familias de aleaciones; sin embargo, las más importantes son aquellas cuyos metales base son:

- Cobre
- Níquel
- Aluminio
- Zinc
- Magnesio
- Titanio
- Plomo.

Las aleaciones empleadas en la ingeniería en estructuras y componentes la manera más sencilla de describirlas es organizándolas en familias, con base en los principales elementos que se encuentran en ellas, tales como las aleaciones antes mencionadas.

Más del 95% en peso de los metales de ingeniería, utilizadas en los Estados Unidos cada año son aleaciones basadas en aluminio, magnesio, cobre, hierro y níquel. En la Tabla 7.1 se muestran algunas propiedades.

Tabla 7.1 PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS IMPORTANTES Y SUS ALEACIONES

PROPIEDADES DEL ELEMENTO (RECOCIDO)				PROPIEDADES DE LA ALEACION COMÚN DE MAYOR RESISTENCIA					
Elemento	Resistencia la influencia* lb/pulg <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup>	Elongación porcentual	BHN	Lingotes, dólares / lb	Aleación No.	Resistencia la influencia* lb/pulg <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup>	Elongación porcentual	BHN	Uso como materiales de ingeniería (EE UU.) ton/año
Aluminio	4	43	19	0.53	7178	78	10	160	3.7 millones
Magnesio		No se emplea	puro	1.48	AZ80	34	6	72	<115 000
Cobre	10	50	25	0.72	C17200	140	7	380	1.7 millones
Níquel	22	47	90	3.15	301	150	10	400	<210 000
Hierro	20	48	70	0.18	4340	270	11	500	80 millones

\*Para obtener MM/m<sup>2</sup> (Mpa), multiplique lb/pulg<sup>2</sup> por 6x10<sup>-3</sup>. Para obtener Kg/mm<sup>2</sup>, multiplique lb/pulg<sup>2</sup> por 7.03x10<sup>-4</sup>.

† Precios de 1984

Un desempeño satisfactorio depende de la densidad, la resistencia a la corrosión y los efectos de la temperatura, así como también de las propiedades eléctricas y magnéticas. Al experimentar con aleaciones y tratamientos térmicos, se ha podido aumentar la resistencia del aluminio puro 20 veces, la del cobre 14 veces y la del hierro 13 veces, manteniendo una ductilidad satisfactoria en todos los casos.

### 7.1 ALEACIONES DE COBRE

El cobre como metal puro tiene singular importancia ya que se utiliza en mayor cantidad por su elevada conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión en determinados ambientes; también por su alta conductividad térmica. Se trabaja muy bien en frío y en caliente.

Se agrupa en los metales nobles junto con la plata y oro, los cuales tienen un punto de fusión relativamente elevado a diferencia de los metales alcalinos con los que comparte el grupo I de la Tabla Periódica de los Elementos formando el grupo IB. Cristalizan en el sistema cúbico centrado en las caras, tienen ductilidad y maleabilidad elevadas.

Sus propiedades se afectan radicalmente con la adición de elementos de aleación. Se elevan sus valores de las propiedades mecánicas y disminuyen las conductividades eléctricas y térmicas y la resistencia a la corrosión.

Forma como metal base una gran variedad de familias de aleaciones todas muy importantes.

Como elemento de aleación se agrega a los siguientes metales base: aluminio, hierro, níquel, magnesio, zinc, etc.

El cobre cuyas principales características son la de alta conductividad, alta resistencia a la corrosión, gran ductilidad en general, maleabilidad, deformabilidad y un color llamativo para su uso en arquitectura, la dureza y resistencia de estas aleaciones no igualan las propiedades de los aceros más duros. Aún modifica sus propiedades con pequeñas cantidades de otros elementos; por tal razón, aún cuando el metal sea tecnológicamente cobre puro sus propiedades están afectadas por residuos de elementos tales como oxígeno, fósforo y otros.

En las aleaciones de cobre es posible dividir en dos clases: aleaciones de una sola fase y aleaciones polifásicas. Las aleaciones de una sola fase tienen buena ductilidad porque la celda unitaria es FCC.

En la Tabla (7.2) se muestran los mecanismos para aumentar la resistencia de las aleaciones de cobre trabajadas de una sola fase son el endurecimiento por solución sólida y las combinaciones de trabajo en frío y recocido. En las aleaciones de dos fases se utilizan el endurecimiento por envejecimiento y otros endurecimientos por precipitados o por dispersiones de una segunda fase.

Tabla 7.2 PROPIEDADES TÍPICAS DE LAS ALEACIONES DE COBRE

Aleación Número	Análisis Químico Porcentual	Condición	Resistencia a la tracción* lb/pulg <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	Resistencia a la fluencia*, lb/pulg <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	Elongación Porcentual	Dureza	Uso típico
<b>Aleaciones trabajadas de una fase</b>							
C11000	ETP, 99.9 Cu	Recocido	32	10	45	40 R <sub>F</sub>	Arquitectónicos eléctrico
		Trabajado en frío	50	40	6	85 R <sub>F</sub>	
C26800	65 Cu, 35 Zn Latón amarillo	Recocido	46	14	65	88 R <sub>F</sub>	Plomería parrillas
		Trabajado en frío	74	60	8	80 R <sub>B</sub>	
C61400	91 Cu, 7 Al, 2 Fe Bronce al Al	Trabajado en frío	82	40	35	90 R <sub>B</sub>	Tubería para condensadores
C71500	70 Cu, 30 Ni Cuproniquel	Recocido	44	20	40	37 R <sub>B</sub>	Tubería para desalinización
		Trabajado en frío	75	68	12	85 R <sub>A</sub>	
<b>Aleaciones trabajadas polifásicas</b>							
C17200	98 Cu, 2 Be Beryllium copper	Recocido	70	30	42	57 R <sub>B</sub>	Resortes, herramientas
		Endurecido por precipitación	175	140	7	38 R <sub>C</sub>	
<b>Aleaciones fundidas</b>							
C81100	Cu	Fundido	25	9	40	BHN 44	Conductores Eléctricos Válvulas, bujes
C83600	85 Cu, 5 Sn, 5 Zn 5 Pb	Fundido	37	17	30	BHN 60	
C93700	80 Cu, 10 Sn, 10 Pb	Fundido	35	18	20	BHN 60	Bujes, Bombas Válvulas marinas
C96400	70 Cu, 30 Ni	Fundido	68	37	28	BHN 140	
C82400	98 Cu, 2 Be	Endurecido	150	140	1	38 R <sub>C</sub>	Matrices, herramientas
C90500	88 Cu, 10 Sn, 2 Ni	Fundido	44	22	6	BHN 85	Engranajes
C95300	89 Cu, 10 Al, 1 Fe	Fundido	75	27	25	BHN 140	Engranajes bujes
		Tratado térmicamente	85	42	15	BHN 174	

\*Multiplique lb/pulg<sup>2</sup> por 6.9 x10<sup>-3</sup> para obtener MPa o por 7.032x10<sup>-4</sup> para obtener Kg/mm<sup>2</sup>.

Existen alrededor de 300 o más aleaciones de cobre, esto y el uso indistinto de los términos tales como el latón y el bronce, crea confusiones en la selección de esta familia de aleaciones.

Se puede dividir dentro de 3 clases:

- a) Latones (Cobre Zinc)
- b) Bronces (Cobre – Estaño, Cobre – Aluminio, Cobre – Silicio, etc.)
- c) Cobre – Níquel

El cobre y sus aleaciones pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Cobre
- Cobre con pequeños porcentajes de aleantes
- Cobre – Zinc (latón)
- Cobre – estaño (bronce)
- Cobre – níquel (cuproníquel)
- Cobre – níquel – zinc (alpaca)
- Bronces especiales

El cobre en solución se obtiene con un contenido específico de plata entre 10 y 25 onzas troy / tonelada. Solamente es del orden del 0.01% en peso de plata, la temperatura de ablandamiento del cobre trabajado en frío se eleva a más de 100°C. Las soluciones sólidas más utilizadas son aquellas que contienen zinc, y se denominan "latón".

La aleación de cobre polifásica de mayor resistencia se produce al endurecer por envejecimiento una aleación del 2% de berilio.

En el ámbito industrial, se considera como cobre puro el que tiene 99.90% mínimo del elemento, el resto a 100% es lo que permite preparar diferentes tipos de cobre.

**COBRE OF.** Es cobre desoxidado preparado por medio de una refinación adecuada bajo atmósfera reductora por lo que para eliminar el oxígeno no se emplea desoxidantes. Tiene una conductividad muy elevada; se aplica en equipos eléctricos y electrónicos.

**COBRE ETP.** Es cobre con un contenido de oxígeno controlado, se le conoce con el nombre de cobre electrolítico, y resulta de la fusión y refinación de cátodos que provienen de las cubas electrolíticas; por medio de la refinación se controlan las impurezas y el oxígeno. Con este tipo de cobre se elaboran barras de secciones diversas, alambres, láminas, etc., para usos eléctricos principalmente.

**COBRE DPH** Es cobre desoxidado con fósforo por lo que tienen de este elemento de 0.015% a 0.045%; por ello su conductividad es menor.

El uso más importante es la fabricación de tubos para conducción de agua, gas, etc.

### COBRE CON PEQUEÑOS PORCENTAJES DE ALEANTES

Este grupo de aleaciones está formado por cobre y hasta 1.5% de aleantes; los más importantes son:

- a) Aleación cobre-plata. Se emplea para la fabricación de las láminas de los radiadores; el contenido de plata aumenta la temperatura de recristalización por lo que a las láminas montadas durante la fabricación del radiador se puede introducir en estaño fundido sin deformarse.
- b) Aleación Cobre-Cromo. Se emplea en la fabricación de electrodos de máquinas punteadoras para soldar, esto es posible porque el cobre y el cromo forman una aleación endurecible por precipitación con lo que se logran electrodos de mayor vida.
- c) Aleación Cobre-Cadmio. El cadmio aumenta la resistencia mecánica del cobre lo que permite la fabricación de alambres telefónicos, de calibres que permiten un mayor espaciamiento entre los postes.

### COBRE - ZINC (LATÓN)

El zinc se adiciona al cobre hasta en un 40% y con ello se incrementa la resistencia a la tracción, la dureza y disminuye la plasticidad. Para mejorar otras propiedades se le añaden elementos tales como: estaño, plomo, etc. como aleaciones típicas se pueden mencionar:

Latón amarillo 70/30

Latón Admiralty

Latón para maquinado libre

El latón amarillo 70/30 es el de mayor consumo en forma de láminas, alambre y tubo. Se elabora con diferentes propiedades y se utiliza en la fabricación de cartuchos, conexiones eléctricas, telas mecánicas, etc.

El zinc se adiciona al cobre en cantidades que van de 5 a 45%, como regla general, la resistencia a la corrosión disminuye cuando el contenido de zinc se incrementa. Los problemas con las aleaciones altas de zinc son las deszincificación y la fractura por esfuerzo de corrosión, que puede ser evitada manteniendo el contenido de zinc por debajo del 15% y adicionándole 1% de estaño como en el latón Admiralty ( $\text{Cu} - 30\text{Zn} - 1\text{Sn}$ ) y el latón Naval ( $\text{Cu} - 40\text{Zn} - 1\text{Sn}$ ) o mediante la adición de cantidades menores al 0.1% de arsénico, antimonio o fósforo que dan una mejor protección.

La tubería fabricada con latón Admiralty se aplica en cambiadores de calor y condensadores en tubería de poco diámetro. Su alta resistencia al ataque por sulfuros a más de 400°F hace de esta aleación un elemento útil cuando se tratan productos amargos de refinerías.

Los latones que contienen cantidades menores que el 15% de zinc pueden ser utilizados para manejar muchos ácidos, soluciones alcalinas y sales, con tal que:

- 1- Haya un mínimo de aireación, y no deben de estar presentes materiales oxidantes tales como el  $\text{HNO}_3$  y dicromatos.
- 2.- No haya compuestos presentes que puedan formar complejos con el cobre, por ejemplo iones amonio, cianuros.

## **CAPITULO VII**

3- No haya elementos o compuestos que reaccionen directamente con el cobre, por ejemplo; sulfuro de hidrógeno, mercurio, sales de plata, acetileno.

Estas condiciones son además aplicables a otras aleaciones que tienen alto contenido de cobre.

### **COBRE ESTAÑO**

El estaño (1 a 10%) se adiciona al cobre para incrementar su resistencia a la corrosión y a la tensión.

Los bronce son aleaciones básicamente entre el cobre y el estaño a los que se les agrega el fósforo como desoxidante; en algunos casos se añade zinc o plomo para modificar algunas de sus propiedades. El estaño aumenta la resistencia mecánica rápidamente obteniéndose en algunos casos producto con valores de resistencia a la tracción similar al acero. Los bronce se utilizan en forma de láminas, alambres, perfiles, muelles, etc.; un gran tonelaje de ellos se utiliza en forma de piezas moldeadas.

### **COBRE NIQUEL (CUPRONIQUEL)**

Los cuproníqueles (10 – 30Ni) son las aleaciones de cobre más resistentes a la corrosión y son los más utilizados.

El cobre y el níquel son solubles en todas proporciones; las principales aleaciones contienen 5, 10, 20, 30 y 40% de níquel además de cantidades menores de fierro y manganeso. Son de las aleaciones de cobre, las más resistentes a la corrosión, sobre todo si esta asociada con la erosión; solamente en el caso de corrosión por azufre no se recomienda el cuproníquel. Además se utiliza para tuberías y placas para intercambiadores de calor, así como para válvulas.

### **COBRE – NIQUEL – ZINC (ALPACA)**

El aspecto de las aleaciones cobre - níquel - zinc es similar al de la plata de ahl que también se le conozca como plata alemana. Tiene buenas características para trabajarse en frío y con ellos se fabrican contactos eléctricos, cuchillería, piezas para platear o niquelar, etc.

### **BRONCES ESPECIALES**

Existen bronce aluminios (Cu – 5Al) y bronce silicios (Cu – 3Si) que no contienen estaño. El aluminio incrementa la resistencia a la corrosión por erosión y a la fractura por esfuerzo de corrosión mejorando sus propiedades a temperaturas elevadas. El silicio se adiciona para incrementar la resistencia a la tensión y mejora sus propiedades a temperaturas elevadas. El silicio se adiciona para incrementar la resistencia a la tensión y mejora sus propiedades a temperaturas elevadas.

El bronce al aluminio es una aleación muy resistente a la corrosión y que en ciertas condiciones puede someterse a tratamiento térmicos similares a los del acero.

Esta aleación resiste especialmente el agua de mar cuando se maneja a altas velocidades y sustituye al latón Admiralty cuando este falla por picaduras. Con ellas se construyen cuerpos de bombas, hélices, herramientas antichispa, etc.

El bronce al manganeso es una aleación de alta resistencia mecánica de muy buenas propiedades de fricción. El bronce al silicio es una aleación que puede alcanzar la resistencia a la tracción del acero; se usa para tubería de intercambiadores de calor, flechas, accesorios marinos, etc.

## **7.2 ALEACIONES DE NÍQUEL**

El níquel puro es un elemento que junto con el hierro y cobalto pertenecen al grupo de los metales de transición magnéticos, y corresponden al periodo 4 del grupo VIII.

El níquel cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras. Se utiliza como metal puro en electrodeposición por su gran resistencia a la corrosión y como metal base de aleaciones con cobre, cromo, hierro, molibdeno, que originan familias muy importantes de aleaciones. Como elemento de aleación se agrega al hierro y al cobre principalmente para la elaboración de aceros inoxidable y otras más.

El níquel es un elemento algo semejante al hierro en resistencia, pero sus aleaciones tienen una excepcional resistencia a la corrosión y a altas temperaturas, así como propiedades magnéticas importantes.

En la Tabla (7.3) se muestran las principales propiedades típicas de las aleaciones de níquel.

El níquel forma como metal base, un grupo numeroso de aleaciones cuya principal propiedad es la de resistir a diversas condiciones de corrosión; su única desventaja es su elevado precio.

Las aleaciones de níquel se conocen en general por el nombre que el fabricante les ha dado al desarrollarse aun con el tiempo, a pesar de ser marcar registradas, han pasado a utilizarse como denominaciones genéricas. Una breve clasificación es la siguiente.

- Níquel - Cobre (Monel)
- Níquel - cromo - hierro (Inconel)
- Níquel - molibdeno - cromo - hierro (Hastelloy)
- Aleaciones para uso eléctrico
- Otras aleaciones

### **NÍQUEL - COBRE (MONEL)**

En cierta forma estas aleaciones son similares a los cuproníqueles solamente que en este caso el níquel es el solvente y el cobre es el soluto. En general son más resistentes que el níquel en condiciones reductoras y más resistentes que el cobre en condiciones oxidantes. Es de color blanco, además es ligeramente magnético a temperatura ambiente.

El tipo básico de monel contiene 30% de cobre y cantidades moderadas de hierro y manganeso. Las propiedades de monel básico se modifican agregando azufre para facilitar su maquinado o agregando silicio y/o aluminio para producir aleaciones endurecibles por precipitación.

El monel es un material resistente mecánicamente y a muchos agentes corrosivos por lo que su uso es muy amplio en la industria. Es el material de elección para agua de mar; resiste ácido sulfúrico diluido y soluciones fuertemente alcalinas. Por arriba de los 370°C las atmósferas con azufre lo corroen rápidamente.

El monel R es una aleación níquel – cobre que contiene mucho azufre para mejorar la maquinabilidad.

El monel K es resistente a la corrosión de ácidos minerales diluidos, agua salada y vapor pero no es resistente a los ácidos oxidantes se usa especialmente en partes no magnéticas, vástagos de bombas, resortes, ejes, etc.

Los moneles H y S, con 3 y 4% de silicio, respectivamente son aleaciones de fundición que combinan características de alta resistencia.

El constatan (45% de níquel y 55% de cobre) tiene la más alta resistividad eléctrica.

Tabla 7.3 PROPIEDADES TÍPICAS DE LAS ALEACIONES DE NIQUEL

Aleación Número	Análisis químico, Porcentaje*	Condición	Resistencia a la tracción <sup>1</sup> lb/pulg <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	Resistencia a la fluencia <sup>1</sup> lb/pulg <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	Elongación Porcentual	Dureza	Uso típico
Aleaciones trabajadas de una fase							
Níquel 200	99.5 Ni	Recocido	65	22	47	BHN 75	Piezas resistentes
		Trabajado en frío	120	92	8	BHN 230	a la corrosión
Monel 400	66 Ni, 32 Cu	Recocido	72	35	42	BHN 110	Piezas resistentes
BHN 75		Trabajado en frío	120	110	8	BHN 241	a la corrosión
BHN 75	78 Ni, 15 Cr, 7 Fe	Recocido	100	50	35	BHN 170	Piezas resistentes
		Trabajado en frío	150	125	15	BHN 290	a la corrosión
Aleaciones trabajadas polifásicas							
Duraníquel 301	94 Ni, 4.5 Al, 0.5 Ti	Recocido	105	42	40	90 R <sub>h</sub>	Piezas resistentes a la
		Trabajado en frío	200	180	8	40 R <sub>c</sub>	corrosión
		Endurecimiento por envejecimiento					Piezas de alta resistencia
Monel K500	65 Ni, 2.8 Al, 0.5 Ti, 30 Cu	Recocido	97	52	35	85 R <sub>h</sub>	Piezas resistentes a la
		Trabajado en frío	185	155	7	34 R <sub>c</sub>	corrosión
		Endurecimiento por envejecimiento					Piezas de alta resistencia
Aleaciones fundidas de una fase							
Níquel 210	95 Ni, 0.8 C	Fundido	57	25	22	BHN 100	Condensadores
Monel 411	64 Ni, 32 Cu, 1.5 Si	Fundido	77	38	35	BHN 135	Equipo para laminar papel
Inconel 610	68 Ni, 15 Cr, 2 Nb, 10 Fe	Fundido	82	38	20	BHN 190	Equipos para productos lácteos
Aleaciones fundidas polifásicas							
Monel 500	63 Ni, 29 Cu, 4 Si	Envejecida	127	97	3	BHN 340	Asientos para válvula
Inconel 705	68 Ni, 9 Fe, 6 Si, 15 Cr	Envejecida	110	95	3	BHN 340	Múltiples de escape

\*Estos representan los elementos principales. Puede haber otros elementos.

<sup>1</sup> Multiplique lb/pulg<sup>2</sup> por 6.9 x10<sup>-3</sup> para obtener MPa o por 7.032x10<sup>-4</sup> para obtener Kg/mm<sup>2</sup>.

Nota: Las superaleaciones con base en níquel se estudian junto con otras superaleaciones.

### **NÍQUEL – CROMO – FIERRO (INCONEL)**

Estas aleaciones, llamados comúnmente inconel contienen generalmente 16% de cromo y 8% de hierro; reúnen buena resistencia mecánica así como a la corrosión y a la oxidación a temperaturas altas. Su contenido de cromo hace que estas aleaciones sean superiores al níquel puro en condiciones oxidantes. Agregando aluminio y titanio se pueden producir inconeles endurecibles por precipitación.

La gran variedad de inconeles permite emplearlos en turbinas, discos de compresores, válvulas, tuberías y accesorios de hornos, escape de motores, etc.

### **NÍQUEL – MOLIBDENO – CROMO – FIERRO (HALTELLOY)**

Estas aleaciones son llamadas hastelloy, contienen molibdeno de 7/28% y 5% de hierro generalmente; se dividen en dos grupos con base si tienen cromo (5/22%) o no. Las aleaciones sin cromo resisten la acción del ácido clorhídrico en todas sus concentraciones hasta el punto de ebullición y lo mismo ocurre con el ácido fosfórico, en cambio solamente resiste al ácido sulfúrico hasta una concentración de 60% en su temperatura de ebullición o a mayores concentraciones a temperaturas menores de 150°C. Sin embargo hasta aleaciones que no se recomiendan para aplicaciones con ácido nítrico o ácidos verdaderamente oxidantes. Por su parte los hastelloy mencionados anteriormente resisten a agentes oxidantes tales como ácido nítrico diluido y mezclas de nítrico y sulfúrico, crómico y sulfúrico, permanganatos y persulfatos y otros.

### **NÍQUEL – FIERRO (INCOLOY)**

Las aleaciones níquel – hierro conocidas como incoloy son similares a los aceros de la serie 300 solamente que tienen hasta 37% de níquel y alrededor de 20 de cromo. Con frecuencia se les coloca dentro de las correspondientes al hierro y, en realidad están en el área límite entre ambos grupos de aleaciones. Tiene una gran resistencia a la oxidación comparable a otras aleaciones de níquel y superior en resistencia mecánica a elevadas temperaturas; por otro lado se puede soldar como los aceros inoxidable austeníticos.

### **ALEACIONES PARA USOS ELECTRICOS.**

Con el níquel se prepara una gran variedad de aleaciones que se usan en resistencias eléctricas así como para servir de termopares. Tal es el caso de las siguientes aleaciones:

Cromel	90%Ni	10%Cr		
Alumel	94%Ni	13%Mn	2%Al	1%Si
Constantano	50%Ni	50%Cu		
Nicrome	80%Ni	20%Cr		

### OTRAS ALEACIONES DE NÍQUEL

Además de los grupos de aleaciones ya mencionados anteriormente, existen otras no menos importantes que presentan magnífica resistencia a la oxidación y a la corrosión a altas temperaturas, a la erosión, a la acción de diversos medios y sustancias sin perder sus propiedades mecánicas. De allí que se empleen en impulsores de bombas, válvulas de admisión y escape de motores, parte de compresores, alambres de turbina, etc.

Estas aleaciones también tienen nombres registrados que, como las anteriores, pasan a ser genéricos. Las más importantes son:

Colmonoy	68/85%Ni	resto de Cr			
Illum	50/68%Ni	25%Cr	6.5%Mo	5.5%Cu	
Wespaloy	60%Ni	20%Cr	14%Co	4%Mo	3%Ti
Rene y Udimet	60%Ni	14%Cr	15%Co	más Mo, Ti, Al y W	
Nimonic	67.5%Ni	20%Cr	15%Co	2.5%Cb	
Invar	36/68%Ni				

### CORROSIÓN EN EL NÍQUEL Y SUS ALEACIONES

El níquel y sus aleaciones tienen una buena resistencia a los cloruros y medios reductores que atacan al acero inoxidable.

La resistencia del níquel al medio reductor se debe al molibdeno y al cobre. El Alloy B (Ni-27 Mo) es resistente al ácido clorhídrico. Alloy 400 (Ni-30 Cu) es ampliamente utilizado en intercambiadores de calor, tiene además una buena resistencia al ácido fluorhídrico, aunque la fractura por esfuerzo de corrosión es un problema potencial.

Si se adiciona cromo al Níquel, se obtienen aleaciones resistentes para un amplio rango de medios oxidantes y reductores tal como Alloy 600 (Ni - 15Cr - 7Fe). Si se adiciona molibdeno se obtiene una resistencia para un amplio rango de medios reductores y oxidantes con una muy buena resistencia a la picadura por cloruros.

Todas éstas aleaciones altas de níquel son resistentes a la fractura por esfuerzo de corrosión por cloruros a temperaturas altas, son generalmente mejor que los obtenidos con los ácidos inoxidables sin embargo, pueden ser más susceptibles a la corrosión intergranular debido a:

- 1) La solubilidad del carbón en la austenita decrece mientras que en el níquel se incrementa, aumentando la tendencia de formar carburos de cromo.
- 2) Las aleaciones son generalmente más propensas a precipitar con compuestos intermetálicos que pueden disminuir la resistencia a la corrosión por el consumo de la matriz de Ni, Mo, etc.

Los carburos de cromo y los compuestos intermetálicos precipitan completamente a temperaturas que van de 1100 a 1800°F aproximadamente. Por lo tanto, éstas son las restricciones para los usos de estas aleaciones como material soldable.

### 7.3 ALEACIONES DE ALUMINIO

El aluminio pertenece al grupo de los metales ligeros junto con el berilio y magnesio. Se les denominan metales ligeros por su baja densidad. El aluminio se encuentra en el grupo IIIA, de la Tabla Periódica de los Elementos. Es un metal que cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras. Tiene una densidad de 2.7. Sus aplicaciones principales se deben a tres factores: conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y ligereza. Aunque tiene una conductividad de 2/3 partes con relación al volumen de cobre, se le considera con conductividad mayor.

El aluminio se recubre rápidamente de una capa adherente al óxido que impide que avance la corrosión atmosférica; el óxido formado puede ser fácilmente coloreado de donde nacen los productos de aluminio anodizados.

Por su ligereza se emplea mucho en construcción. Para mejorar alguna de sus propiedades se le agregan magnesio, silicio, cobre, manganeso, etc., para dar respuesta a gran número de aplicaciones que requieren de las propiedades mencionadas.

El aluminio produce diversas aleaciones de acuerdo con el elemento aleante en las cuales, se obtienen diferentes propiedades de acuerdo con trabajo mecánico en frío y a los procesos térmicos que se les dé durante la fabricación.

El aluminio tiene muchos empleos en su estado no aleado o relativamente puro. Como se observa en la Tabla (7.4), vemos que para el aluminio comercialmente puro (1060), hay dos conjuntos de propiedades especificadas, en las condiciones señaladas 0 y H18. Las microestructuras son semejantes a las de los latones  $\alpha$  trabajados en frío y recocidos. Como en el caso del latón, al controlar la secuencia e intensidad del recocido y del trabajo en frío, podemos obtener diferentes combinaciones de resistencia, elongación y dureza dentro de los extremos que aparecen en la Tabla.(7.4).

En general las aleaciones de aluminio no tienen nombres propios y se clasifican, basándose en los aleantes con un número que los identifica seguidos de tres dígitos que puedan indicar la pureza del aluminio o el número de la aleación. Este sistema es el siguiente:

- 1XXX Aluminio convencionalmente puro (más de 99%)
- 2XXX Aleado con cobre
- 3XXX Aleado con manganeso
- 4XXX Aleado con silicio
- 5XXX Aleado con magnesio

6XXX Aleado con magnesio y silicio

7XXX Aleado con zinc

8XXX Aleado con otros elementos.

De estos grupos de aleaciones de aluminio los de más amplio uso en la industria son:

La marcada con el número 2014 que tiene 3.9 a 5% de cobre, la 3003 que contiene de 1 a 1.5% de manganeso, la 5005 con 0.5 a 1.1% de magnesio, la 6061 que contiene 0.4 a 0.8% de silicio y tiene de 0.8 a 1.2% de magnesio.

Las aleaciones de aluminio también se fabrican recubiertas de aluminio puro o de alguna aleación de aluminio diferente, para obtener propiedades de resistencia mecánica en el interior y de resistencia de corrosión en el exterior.

El tipo de proceso de manufactura se indica con el siguiente código:

H1X, trabajo en frío. Mientras más alto sea el número X, mayor será la cantidad de trabajo en frío.

H2X, trabajada en frío y recocida. El valor de X todavía representa la cantidad de trabajo en frío.

H3X, trabajada en frío y estabilizada. El valor X representa la cantidad de trabajo en frío. Estabilizar significa calentar de 50 a 100°F por encima de la máxima temperatura de utilización, de modo que no ocurra ablandamiento durante la vida útil de servicio.

Las especificaciones que tienen la letra T incluyen tratamientos térmicos para producir endurecimiento por envejecimiento. Estas solamente son utilizadas para aleaciones que tienen precipitados coherentes, en este caso son las series 2XXX, 6XXX y 7XXX. El código es el siguiente:

T3, Tratamiento de solución seguido por endurecimiento por deformación y luego envejecimiento natural.

T4, Tratamiento de solución y envejecimiento natural.

Tabla 7.4 PROPIEDADES TÍPICAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Aleación Número	Análisis Químico Porcentual	Condición	Resistencia a la tracción . lb/pulg <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	Resistencia a la fluencia*, lb/pulg <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	Elongación Porcentual	BHN	Uso típico
<b>Aleaciones trabajadas de una fase</b>							
1060	99.6 mínimo de Al	0	10	4	42	19	Láminas, platina,
		H18 Duro	19	18	6	35	tubería
3003	1.2 Mn	0	16	6	30	28	Paneles para
		H18 Duro	29	27	4	55	camión, ductos
5052	2.5 Mg, 0.2 Cr	0	28	13	25	47	Carrocerías para bus.
		H38 Duro	42	37	7	77	aplicaciones marinas
5050	1.2 Mg	0	21	8	24	36	Láminas, guarniciones,
		H38 Duro	32	29	6	63	tuberías de gas
<b>Aleaciones trabajadas en dos fases</b>							
2014	4.5Cu 0.8 Si	Recocida	27	14	18	45	Estructuras
	0.8 Mn	T6 Tratada térmicamente	70	60	13	135	de avión
	0.5 Mg						
6061	1 Mg, 0.6 Si	Recocida	18	8	30	30	Equipos de Transporte,
	0.2Cr	T6 Tratada térmicamente	45	40	12	95	Tubería
	0.3 Cu						
7178	7 Zn, 0.3Mn, 3 Mn 0.3 Cr	Recocida	33	15	16	60	Partes estructurales
	2 Cu	T6 Tratada térmicamente	88	78	10	160	en aviones
<b>Aleaciones trabajadas de una fase</b>							
296.0	4.5 Cu	Tratamiento térmico por	37	19	9	75	Partes para avión,
		(T6) Envejecida	40	26	5	90	Carcasas de bombas
356.0	7 Si, 0.4 Mg	(T5) Envejecida	25	20	2	60	Transmisión de automóvil,
		(T6) Envejecida	38	27	5	80	carcasas, ruedas
712.0	5.5 Zn, 0.6 Mg 0.5 Si		35	25	3	75	Partes para máquinas
208.0	3 Si, 4 Cu	(F) Fundido	21	14	2	55	General
380.0	8 Si; 3.5 Cu	(F) Fundido	47	23	4	80	Fundición por inyección
390.0	17 Si, 1 Fe 4.5 Cu, 0.5 Mg	(F) Fundido	41	35	<3	120	Fundición por inyección

\*El resto, aluminio; análisis en porcentaje en peso en esta tabla y en las demás.

† Multiplique por  $6.9 \times 10^{-3}$  para obtener MPa o por  $7.03 \times 10^{-4}$  para obtener Kg/mm<sup>2</sup>.

T5, Envejecimiento únicamente. En los casos especiales donde la parte se enfría rápidamente desde la temperatura de trabajo o de fundición, se omite el tratamiento térmico de solución.

T6, Tratamiento térmico por solución y envejecimiento artificial.

T7, Tratamiento térmico de solución y estabilización.

T8, Tratamiento térmico de solución y endurecimiento por deformación y envejecimiento artificial.

T9, Tratamiento térmico de solución y endurecimiento por deformación y envejecimiento por deformación.

O Estado recocido en aleaciones trabajadas.

T2, Enfriamiento desde la alta temperatura del proceso de conformación, seguido por trabajo en frío y envejecimiento natural.

F, Condición final de la pieza en condiciones trabajadas o en estado de fundición, en piezas coladas.

### **CORROSION EN EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES**

Como regla general, las aleaciones de aluminio (particularmente la serie 2000 Al - Cu) puede tener una resistencia menor a la corrosión que el metal comercialmente puro, sin embargo las adiciones de los aleantes incrementan la resistencia a la tensión. Las aleaciones comúnmente usadas en las industrias de los procesos químicos son las series: 1XXX, 5XXX y 6XXX. La resistencia a la corrosión del aluminio depende de las películas protectoras. Esta película es estable en medios acuosos cuando el pH se encuentra entre 4.5 y 8.5; a pH menores o mayores es más probable que el aluminio sea corroído.

El aluminio se emplea en sistemas que requieran de una alta pureza del agua y para una gran variedad de soluciones orgánicas. Los alcoholes mayores originan problemas al almacenarse y deben de evitarse así como los haluros, los ácidos orgánicos anhídridos, el mercurio y las soluciones de las sales de metales pesados.

Algunas aleaciones de aluminio son susceptibles de sufrir corrosión intergranular debido a temperaturas bajas que origina la precipitación en los límites de grano y produce tanto la exfoliación así como la fractura por esfuerzo de corrosión. Este problema no se presenta en las series que contienen cantidades menores al 3% de magnesio como son: 1XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX y 6XXX.

Cuando el aluminio se emplea en estructuras complejas la corrosión galvánica es un problema potencial, se comporta como ánodo en muchos de los materiales tal como el hierro, acero inoxidable, titanio, cobre y aleaciones de níquel. Si se presenta una corrosión galvánica, el aluminio se corroerá preferentemente, mientras que la otra parte de la celda se comporta como un cátodo, que libera hidrógeno y puede originar fractura por hidrógeno en una estructura adyacente que esté siendo sometida a algún esfuerzo.

### 7.4 ALEACIONES DE ZINC

La familia del zinc esta formada por el zinc, cadmio y mercurio; se encuentran en el grupo IIB de la Tabla Periódica.

El zinc tiene una estructura hexagonal compacta; como metal puro se usa para prevenir el acero de la corrosión ya sea recubriéndolo (galvanizado) o como ánodos en protección catódica. Forma con el aluminio y el cobre aleaciones para moldearse conocidos como Zamak. Los recubrimientos metálicos de zinc pueden aplicarse mediante varios métodos, como galvanizados por inmersión caliente, electrogalvanizado, pintado, metalizado o rociado de metal fundido y por sherardizado o cementación.

El zinc puro tiene una temperatura de recristalización inferior al ambiente, de modo que se autorrecuece y no puede endurecerse por trabajo a temperatura ambiente. La presencia de impurezas naturales o de elementos agregados aumenta la temperatura de recristalización, lo cual quiere decir que las clases menos puras de zinc forjado mostrarán un incremento de dureza y resistencia con el trabajo.

A continuación se mencionaran sólo aquellas aleaciones en que el zinc es el componente principal y que ya han sido mencionados.

Aleación: Al-Zn

Cd-Zn

Cu-Zn (latones)

Fe-Zn (galvanizado)

Mg-Zn

Pb-Zn

### ALEACIONES PARA VACIADO EN MATRIZ

Este tipo de aleación, es con mucha diferencia, la salida más grande para las aleaciones de zinc. El método difiere del vaciado en molde de arena, en que se usa un molde permanente de acero para la colada. La aleación de zinc se mantiene a una temperatura unos cuantos grados por encima de su punto de fusión y se le obliga a entrar en la matriz mediante un pistón de acero; se deja en el molde bajo una presión de 140 Kg/cm<sup>2</sup>, o más alta, hasta que solidifica. El molde se construye de dos o más piezas para facilitar la extracción del vaciado. La velocidad de fundición es muy grande en comparación con la de la fundición en molde de arena, pero la cantidad de piezas ha de ser grande para justificar el costo de la matriz. Las aleaciones de zinc, que se funden a una temperatura relativamente baja, no atacan tanto los moldes como las de otros metales; esto se traduce a una vida más larga del molde. En la fundición en matriz, el zinc está a la cabeza de sus competidores, en el siguiente orden:

Zinc

Aluminio

Plomo

Cobre

Magnesio

Estaño

La introducción d aleaciones de zinc para vaciado en matriz dio por algún tiempo una mala reputación a causa de la corrosión intergranular y la falta de estabilidad dimensional.

No hay ninguna aleación para fundición en matriz a base de un solo metal que satisfaga mejor que la de zinc los requisitos de resistencia mecánica, costo, resistencia a la corrosión, etc. Las aleaciones de zinc son las elegidas con mayor frecuencia por los siguientes motivos:

- a) bajo costo por kilogramo y por pieza fundida
- b) aptitud para ser fundidas dentro de estrechas tolerancias dimensionales, con la que se eliminan o se disminuyen mucho las operaciones subsiguientes de labrado o máquina
- c) bajo costo de labra en el caso de que ésta sea necesaria
- d) facilidad de fundición pueden fundirse a 400-427°C).
- e) costo más bajo del material de la matriz y de su rectificación gracias a la menor temperatura de fundición
- f) mayor resistencia que cualquiera otra aleación de fundición en matriz, excepto el latón
- g) Adecuada resistencia a la corrosión para muchas aplicaciones y bajo costo de protección en condiciones leves de corrosión

La Society of Automotive Engineers (SAE) y la ASTM han adoptado normas para tres aleaciones de zinc destinadas a vaciado en matriz, de las que sólo dos han encontrado. Las propiedades de estas dos se dan en la siguiente tabla.

componente	A.S.T.M. XXIII, S.A.E. 903 N.J. Zinc Co. Zamak 3	A.S.T.M. XXV, S.A.E. 925, N.J.Zinc Co., Zamak 5
Cobre, máx.	0.15	0.75-1.25
Aluminio	3.5-4.3	3.5-4.3
Magnesio	0.003-0.08	0.03-0.08
Hierro, máx.	0.100	0.100
Plomo, máx.	0.007	0.007
Cadmio, máx.	0.005	0.005
Estaño, máx.	0.005	0.005
Zinc (99.99 + % de pureza)	Resto	Resto

Tabla. Composición de aleaciones de zinc para fundición en matriz (% en peso)

La adición de aluminio mejora la resistencia mecánica y la ductilidad de la aleación al reducir el tamaño del grano. Además otra ventaja es que reduce muchísimo el ataque del metal fundido sobre la matriz y otras partes de la máquina de fundición con las que el metal ha de estar en contacto. Se ha utilizado

## CAPITULO VII

la nitruración de las piezas basándose en hierro para disminuir este tipo de corrosión. Se agrega magnesio en pequeñas cantidades porque tiende a hacerse estables permanentemente las piezas fundidas.

La diferencia principal en la composición de las dos aleaciones de zinc antes mencionadas en la tabla, es su contenido de cobre. Un alto contenido de cobre hace la aleación más dura y resistente.

Propiedades	Zamak 3	Zamak 5
Resistencia al choque, Charp, barra de ¼ X ¼ de pulgada, Kgm Recién fundida	5.94	6.64
Después de 8 años de envejecimiento bajo techo Resistencia a la tracción, Kg/cm <sup>2</sup>	5.67	5.53
Recién fundida	2880	3340
Después de 8 años de envejecimiento bajo techo Elongación, % en 2 pulgadas	2460	2760
Recién fundida	10	7
Después de 10 años de envejecimiento bajo techo Dilatación (crecimiento), cm/cm	16	13
Después de 8 años de envejecimiento bajo techo Dilatación cm/cm	0.0001	0.0001
P.f., °C	386.6	386.1

Tabla Propiedades de aleaciones de zinc para fundición en matriz

### ALEACIONES PARA FUNDICIONES DE PIEZA HUECAS

El proceso de fundición viscosa es probablemente el más riesgoso de los métodos de fundición. Su objeto principal es la producción de piezas de fundición huecas, que luego pueden o no laquearse.

Los principales requisitos metalúrgicos para las aleaciones de fundición viscosa son los siguientes:

- Temperatura de congelación francamente baja (comúnmente se usan aleaciones con base de zinc y base de plomo).
- La solidificación debe ocurrir en un intervalo de temperatura y no a una temperatura definida, para producir la consistencia viscosa.

Para la fundición de piezas huecas se pueden emplear las siguientes aleaciones de zinc:

Aleación	%Zn	%Al	%Cu
1	94.5	5.5	-
2	95.0	4.75	0.25

Con la aleación 1 hay que tener mucho cuidado de que la concentración de aluminio no baje mucho de la cifra indicada, porque la eutéctica zinc-aluminio se forma ya con una concentración de 5.0% de aluminio. Las aleaciones eutécticas no cumplen el requisito b).

### ALEACIONES PARA MATRICES DE EMBUTIR Y DE CORTE

Se han usado aleaciones de este tipo para hacer matrices de embutir y de corte o de cizalla destinadas a la fundición de piezas de metal en lámina, particularmente para aviación durante la segunda guerra mundial. Por su punto de fusión relativamente bajo, las matrices pueden fundirse y remodelarse cuantas veces se desee. La composición de una de estas aleaciones es: Al, 3.5 -5.0%, Cu, 4%, Mg, 1%, Zn, el resto.

### Algunas aplicaciones

Se utiliza como aleante con el cobre para formar latones, y con el cobre y níquel para producir alpacas.

El principal uso del zinc en estructuras es para fundiciones por inyección. Estas aleaciones de zinc son ideales para el proceso debido a su bajo punto de fusión y poca corrosión de los crisoles y de las matrices de acero. En consecuencia un gran número de partes e automóvil, juguetes y materiales de construcción se hacen de aleaciones de zinc. En la Tabla (7.5) se muestran las principales propiedades de algunas aleaciones de zinc.

Tabla 7.5 PROPIEDADES TÍPICAS DE LAS ALEACIONES DE ZINC (FUNDIDAS EN MATRIZ O MOLDE PERMANENTE)

Aleación Número	Análisis químico, Porcentaje	Resistencia a la tracción nominal, *lb/pulg <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	Elongación Porcentual	BHN
AG40A	4 Al, 0.05 Mg	41	10	82
AC41A	4 Al, 1 Cu, 0.05 Mg	48	7	91

Al agregar al zinc plomo y cadmio da como resultado mayor dureza, rigidez y una reacción uniforme al ataque químico. Se utiliza para burlletes, latas soldadas para batería y placas para fotograbado. Para rigidez añadida, buena resistencia a la fluencia y fácil endurecimiento por trabajado, se recomiendan las aleaciones que contienen de 0.8 a 1.25% de cobre. Una aleación forjada al zinc que contiene de 0.5 a 1.50% de cobre y de 0.12 a 1.50% de titanio tiene relevante resistencia a la fluencia y se utiliza para techos acanalados, guías y canales.

## CAPITULO VII

La aleación de 4% de aluminio, 0.04% de magnesio y hasta 3.5% de cobre se ha empleado en forma de grandes placas laminadas en la industria de aviones y para troqueles en el cortado de láminas de aleación de aluminio y acero delgado.

El zinc se usa principalmente como material estructural en forma de aleaciones para fundiciones de troquel. Las aleaciones de troquel son económicas y fáciles de fundir y tienen mayor resistencia que todos los metales de fundiciones en troquel, excepto las aleaciones de cobre.

Las dos aleaciones de fundición en troquel, de uso general, se conocen como Zamak-3 y Zamak-5. Ambas contienen aproximadamente 4% de aluminio y 0.04% de magnesio. La Zamak-3 tiene ductilidad ligeramente mayor y retiene su resistencia a cargas aplicadas con impacto mejor a temperatura ligeramente elevada. La Zamak-5, con aproximadamente 1% de cobre, es un poco más dura y fuerte y tiene capacidad de fundido ligeramente mejor. El máximo límite de composición de ciertas impurezas, como plomo (0.007%), cadmio (0.005%) y estaño (0.005%), debe observarse estrictamente para minimizar la corrosión intergranular.

En la Tabla (7.6) aparecen la composición y propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones de zinc.

Tabla 7.6 Propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones al zinc

COMPOSICIONES DEL MATERIAL, PORCENTAJE APROXIMADO	TRATAMIENTO	RESISTENCIA TENSIL <sub>2</sub> lb/pulg <sup>2</sup>	ELONGACIÓN PORCENTAJE EN 2 pulg.	BHN, BOLA DE 10 mm
<b>ALEACIONES FORJADAS</b>				
Zinc comercial laminado (estirado profundo), 0.08 más. Pb, bal. Zn	Laminado en caliente <sup>1</sup>	19 500	65	38
	Laminado en caliente**	23 000	50	38
	Laminado en frío <sup>1</sup>	21 000	40	
	Laminado en frío**	27 000	40	
Zinc comercial laminado, 0.05-0.10 Pb, 0.05-0.08 Cd, bal. Zn	Laminado en caliente <sup>1</sup>	21 000	52	43
	Laminado en caliente**	25 000	30	43
	Laminado en frío <sup>1</sup>	22 000	40	
	Laminado en frío**	29 000	30	
Zinc comercial laminado, 0.25-0.50 Pb, 0.25-0.45 Cd, bal. Zn	Laminado en caliente <sup>1</sup>	23 000	50	47
	Laminado en caliente**	29 000	32	47
	Laminado en frío <sup>1</sup>	25 000	45	
	Laminado en frío**	31 000	28	
Aleaciones de zinc al cobre laminada y endurecida, 0.85-1.25 Cu, bal. Zn	Laminado en caliente <sup>1</sup>	24 000	20	52
	Laminado en caliente**	32 000	15	60
	Laminado en frío <sup>1</sup>	32 000	5	
	Laminado en frío**	40 000	3	
Aleaciones al zinc laminada, 0.85-1.25 Cu 0.006-0.016 Mg, bal. Zn.	Laminado en caliente <sup>1</sup>	28 000	20	61
	Laminado en caliente**	36 000	10	80
	Laminado en frío <sup>1</sup>	37 000	20	
	Laminado en frío**	48 000	2	
<b>ALEACIONES FUNDIBLES</b>				
Zamak-3, SAE 903, ASTM AG 40A (XX111), 3.5-4.3 Al, 0.03-0.08 Mg 0-0.15 max. Cu, bal. Zn (99.99%)	Fundido en troquel	41 000	10	82
	Fundido en troquel	47 600	7	91
Zamak-2, SAE 921, ASTM (XX1), 3.5-4.5 Al, 0.02-0.10 Mg 2.5-3.5 Cu, bal. Zn (99.99%)	Fundido en molde de arena	20 000-30 000		70-100
	Fundido en molde de arena	20 000-30 000		70-100
Zamak-5, (igual que la anterior)		20 000-30 000		70-100

<sup>1</sup> Dirección longitudinal.

\*\* Dirección transversal.

### 7.5 ALEACIONES DE MAGNESIO

El magnesio junto con el berilio, con los metales alcalino-térreos pertenecen al grupo IIA; sin embargo no tienen las mismas cualidades que ellos.

Las principales ventajas del magnesio son su peso ligero, la facilidad de maquinabilidad y la alta razón resistencia a peso que se puede obtener con sus aleaciones.

El magnesio tiene estructura cristalina c.p.h. (hexagonal compacta) y la deformación plástica tiene lugar a temperatura ambiente por deslizamiento a lo largo de los planos basales.

El magnesio comercialmente puro o magnesio primario tiene un mínimo de pureza del 99.8% y suele contener pequeñas cantidades de aluminio, hierro, manganeso, silicio y cobre.

El magnesio se utiliza como elemento de aleación en aluminio, zinc, plomo y otras aleaciones no ferrosas. Tiene gran afinidad con el oxígeno y otros agentes químicos de oxidación. Se utiliza como desoxidador y desulfurizador en la manufactura de aleaciones al níquel y al cobre, así como eliminador de gases disueltos en la manufactura de tubos de vacío.

Las aleaciones de magnesio compiten con las de aluminio porque la densidad del magnesio es dos tercios de la del aluminio.

A pesar de que el polvo de magnesio fino se quema fácilmente en el aire, una colada de magnesio líquido puede verterse en una atmósfera de aire en piezas fundidas o en lingotes tomando unas precauciones sencillas. Las piezas hechas con magnesio no se incendian durante el tratamiento térmico. El magnesio se corroe más rápidamente que el aluminio en muchos ambientes tales como el agua salada.

En la Tabla 7.7 aparecen las aleaciones típicas del magnesio. Los sistemas que sirven para designar el tratamiento térmico (T4, T6, etc.) y el trabajo en frío (H24, etc.) son los mismos que para las aleaciones de aluminio. Sin embargo los métodos para indicar la composición de las aleaciones son diferentes. Las letras AZ, etc. Se refieren a los dos elementos más importantes de la aleación, de acuerdo con el siguiente código:

- A = aluminio
- E = tierras raras (tales como el cerio)
- H = torio
- K = circonio
- Q = plata
- Z = zinc
- M = manganeso
- S = silicio
- T = estaño

Las cantidades relativas de los elementos se indican por medio de números colocados después de las letras. El primer número se refiere al porcentaje del

## **CAPITULO VII**

elemento indicado por la primera letra, y el segundo número se refiere al porcentaje del segundo.

Las aleaciones de magnesio se utilizan principalmente en aviones y naves espaciales, maquinaria, herramientas y equipo para transporte de materiales. La resistencia se incrementa con el contenido de aluminio por aumento de resistencia por solución sólida y por la precipitación de una fase fina laminar.

Las aleaciones de magnesio deben jugar cada día un papel más importante como materiales de ingeniería debido a que la cantidad de magnesio en el agua de mar es enorme comparada con las reservas reducidas de otros elementos metálicos importantes que son generalmente explotados en la forma de óxidos y sulfuros complejos.

Aunque la mayoría de las aleaciones de magnesio son ternarias, se considera que están basadas en cuatro sistemas de aleaciones binarias: magnesio - aluminio, magnesio ' zinc, magnesio ' tierras raras y magnesio ' torio.

Las aleaciones que contienen sobre 6% de aluminio, las cuales incluyen todas las de fundición Mg-Al, se pueden tratar térmicamente.

Las aleaciones dadas en los intervalos de composición de 4 a 8% de zinc muestran los más poderosos efectos de endurecimiento por precipitación de cualquiera de los sistemas binarios basados en magnesio.

### **ALEACIONES MAGNESIO – ALUMINIO**

Este grupo incluyen las aleaciones de fundición magnesio – aluminio – manganeso (AM) y las de fundiciones magnesio – aluminio – zinc (AZ).

La aleación AM100A es conocida para piezas fundidas resistentes a las fugas de presión coladas en moldes de arena para piezas fundidas en moldes permanentes que tengan buena combinación de resistencia tensil, resistencia ala cedencia y elongación.

### **ALEACIONES MAGNESIO – ZINC**

Esencialmente, son aleaciones de fundición magnesio-zinc-circonio (ZK) y magnesio-zinc-torio (ZH). El efecto de las adiciones de circonio, hasta aproximadamente 0.7%, a las aleaciones de magnesio es de refinamiento de grano. El circonio elimina completamente de la fundición la estructura de granos gruesos columnares, incrementando así las propiedades mecánicas.

Las aleaciones colables ZK51A y ZK61A logran la más alta combinación de resistencia tensil y ductilidad de cualquiera de las aleaciones colables de magnesio. Esto se debe al fuerte efecto de endurecimiento por envejecido del sistema binario magnesio-zinc y al efecto de grano fino del circonio.

La aleación forjada ZH60A es la extruible de más alta resistencia para formas sólidas y huecas.

### **ALEACIONES MAGNESIO – TIERRAS RARAS**

Este grupo incluye las aleaciones de fundición magnesio – tierra rara – circonio (EK) y magnesio – tierras raras – zinc (EZ).

El mejoramiento de las propiedades a elevada temperatura se obtiene mediante una alta temperatura para minimizar la fluencia. Agregar elementos del grupo tierras raras al magnesio satisface ambos requisitos, de modo que estas aleaciones son adecuadas para emplearlas a temperaturas hasta de 500°F.

Cuando la adición de un elemento del grupo de tierras raras contiene 50% de cerio, se conoce como metal misch y se utiliza como aleación comercial de bajo costo.

### **ALEACIONES MAGNESIO – TORIO**

El grupo incluye las aleaciones de fundición magnesio – torio – circonio (HK) y magnesio – torio – zinc (HZ). Como los elementos del grupo tierras raras, el torio mejora en mucho las propiedades del magnesio a elevada temperatura.

Las aleaciones de fundición HK31A y HZ32A se emplean en el intervalo de 359 a 700°F, en que se necesitan mejores propiedades que las de las aleaciones que contienen algún elemento del grupo de tierras raras. La HK31A es particularmente buena para usos a elevada temperatura en tiempos cortos, en que se encuentran altos esfuerzos, mientras que la HZ32A se prefiere cuando son importantes las propiedades de menores esfuerzos en periodos largos.

Aleaciones de extrusión HM31XA y la aleación para láminas HM21A, siendo de magnesio – torio – magnesio. Estas tienen las mejores propiedades a alta temperatura de cualquier aleación al magnesio forjada.

En la tabla 7.7 aparecen la composición nominal y las propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones de magnesio, fundidas y forjadas.

### **RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN ALEACIONES DE MAGNESIO**

La resistencia a la corrosión atmosférica de las aleaciones de magnesio depende del elemento de aleación, de la cantidad presente, si la exposición es bajo techo o al aire libre, y de la humedad.

Los resultados experimentales indican que la resistencia a la corrosión del magnesio se compara favorablemente con las de las aleaciones de aluminio, y es superior a la del acero al bajo carbono en atmósferas industriales.

La resistencia a la corrosión de las aleaciones de magnesio en soluciones acuosas salinas depende de la presencia de impurezas, como hierro, cobre, níquel y cobalto.

El efecto del tratamiento térmico sobre la resistencia a la corrosión de las aleaciones de magnesio en soluciones salinas varía con la temperatura del tratamiento térmico, la rapidez de enfriamiento, los elementos de aleación y el contenido de impurezas.

### **UNIÓN DE ALEACIONES DE MAGNESIO**

El magnesio y las aleaciones de magnesio se pueden unir mediante la mayoría de los métodos comunes de fusión y unión mecánica. Entre éstos se incluyen soldaduras por arco, soldadura por gas, soldadura por resistencia eléctrica y soldadura por resistencia en general, remachado, atornillado, dispositivos de autounión y enlace adhesivo.

En todas las aleaciones de magnesio, el intervalo de solidificación aumenta y el punto de fusión y el encogimiento disminuyen, incrementando el contenido de aleación.

**Tabla 7.7 Composición nominal y propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones al magnesio a temperatura ambiente**

ALEACION Y TEMPLE	COMPOSICIÓN NOMINAL, PORCENTAJE						RESISTENCIA TENSIL 1000 lb/pulg <sup>2</sup>	RESISTENCIA TENSIL A LA CEDENCIA 1000 lb/pulg <sup>2</sup>	ELONGACIÓN PORCENTAJE	BHN 500 Kg 10 MM	RESISTENCIA COMPRESIVA A LA CEDENCIA, 1000 lb/pulg <sup>2</sup>
	Al	Mn	Zn	Th	Zr	TIERRAS RARAS					
LAMINA, RECOCIDO	99.8% Mg MINIMO						23-28	13-15	3-15	40-41	10-12
LAMINA, TEMPLE DURO	---						26-32	17-20	2-10	45-47	15-17
ALEACIONES FUNDIBLES EN MOLDE DE ARENA Y EN MOLDE PERMANENTE											
AM100-T6	10.0	0.1	---	---	---	---	40	22	1	69	19
AZ63A-T6	6.0	0.2	3.0	---	---	---	40	19	5	73	19
AZ81A-T4	7.5	0.15	0.7	---	---	---	40	12	15	55	12
AZ91C-T6	9.0	0.2	0.7	---	---	---	40	19	5	70	19
AZ92A-T6	9.0	0.1	2.0	---	---	---	40	22	3	81	22
ZK51A-T5	---	---	4.5	---	0.7	---	40	24	8	65	24
ZK61A-T5	---	---	6.0	---	0.7	---	---	27	---	68	27
ZK61A-T6	---	---	6.0	---	0.7	---	---	28	---	70	28
ZH62A-T5	---	---	5.7	1.8	0.7	---	39	26	4	70	28
ZE41A-T5	---	---	4.25	---	0.5	1.25	30	20	3.5	62	20
EK30A-T6	---	---	---	---	0.6	4.0	23	16	3	45	16
EK41A-T6	---	---	---	---	0.2	3.0	25	18	3	50	18
EZ33A-T5	---	---	2.7	---	0.5	3.0	23	16	3	50	16
HK31A-T6	---	---	---	---	0.7	---	32	15	8	66	15
HZ32A-T5	---	---	2.0	---	0.7	---	27	13	4	55	16
ALEACIONES FUNDIBLES EN DADO											
AZ91AA Y B-F	9.0	0.2	0.7	---	---	---	33	22	3	63	24
BARRAS Y MOLDE EXTRUIDOS											
MIA-F	---	1.2	---	---	---	---	37	26	12	44	12
AZ31B-F	3.0	0.2	1.0	---	---	---	38	29	15	49	14
AZ61A-F	5.5	0.2	1.0	---	---	---	45	33	16	60	19
AZ80A-T5	8.5	---	0.5	---	---	---	55	40	7	80	35
ZK60A-T5	---	---	5.5	---	0.5	---	53	44	11	82	36
ALEACIONES EN FORMA DE LAMINAS Y DE PLACAS											
AZ31B-H24	3.0	0.2	1.0	---	---	---	42	32	15	73	26
HK31A-H24	---	---	---	3.25	0.7	---	37	29	8	---	23
HM21A-T8	---	0.5	---	2.0	---	---	34	25	10	---	15
ZE10A-H24	---	---	1.25	---	---	0.17	38	28	13	---	24

## 7.6 ALEACIONES DE TITANIO

El titanio corresponde al grupo IVB dentro de los metales de transición junto con el vanadio, columbio y tántalo.

Cristaliza el titanio en el sistema hexagonal compacto y por arriba de 882°C en el sistema cúbico centrado en el cuerpo. Tiene una excelente resistencia a la corrosión aunque a más de 425°C se combina fácilmente con algunos elementos gaseosos. Se utiliza como metal base en diversas aleaciones como aluminio, estaño, cobre, etc. Como elemento aleante se agrega al acero, al aluminio y al níquel.

Las aleaciones de titanio sólo se han desarrollado por su alta reactividad química las hace difíciles de fundir, fundir en lingotes y trabajar en caliente.

Las aleaciones de titanio son muy resistentes a la corrosión debido a la habilidad que tienen para formar una capa autoprotectora y resistente a la corrosión. También la densidad relativa baja y la alta resistencia del titanio, lo convierten en un candidato para aplicaciones en aviación.

El titanio tiene una estructura HCP  $\alpha$  a temperatura ambiente, la cual se transforma en BCC  $\beta$  a 880°C. Algunos elementos tales como el aluminio estabilizan la fase  $\alpha$  produciendo las aleaciones  $\alpha$ . El cromo, el hierro, el molibdeno y el vanadio disminuyen la temperatura de transformación, estabilizan  $\beta$  y llevan a aleaciones  $\alpha$ - $\beta$  ó  $\beta$ .

El agregar elementos de aleación al titanio influirá en la temperatura de transformación de alfa a beta. Es práctica común referirse a los elementos de aleación como estabilizadores alfa o beta. Un estabilizador alfa significa que al agregar el soluto, la temperatura de transformación alfa o beta es elevada; asimismo, un estabilizador beta disminuye la temperatura de transformación. El aluminio es un estabilizador alfa, el cromo, el molibdeno, el vanadio, el manganeso y el hierro son importantes estabilizadores beta.

Las propiedades están relacionadas directamente con la microestructura. Las aleaciones de fase única son soldables con buena ductilidad; algunas de las dos fases son soldables también, pero sus partes soldadas resultan menos dúctiles. Las aleaciones bifásicas alfa - beta son más fuertes que las unifásicas alfa, principalmente porque la  $\beta$  b.c.c. es más fuerte que la  $\alpha$  c.p.h. Las aleaciones bifásicas pueden fortalecerse mediante tratamiento térmico. Ya que la microestructura puede manipularse si se controla el calentamiento, el templado y los ciclos de envejecimiento.

### ALEACIONES ALFA

Este tipo de aleaciones contiene algunos elementos de aleación y de estabilización beta. Las combinaciones están balanceadas por el alto contenido de aluminio, entonces las aleaciones son alfa unifásicas.

Tienen dos atributos principales: la capacidad de soldado y la retención de resistencia a altas temperaturas. La primera resulta de la microestructura unifásica, en tanto que la segunda es causada por la presencia del aluminio. Los elementos

**CAPITULO VII**

de aleación en solución fortalecen las aleaciones de fase alfa. El trabajo en caliente de las aleaciones alfa con más del 6% de aluminio es difícil.

**ALEACIONES ALFA – BETA**

Estas aleaciones contienen suficientes elementos de estabilización beta para provocar que la fase beta persista hasta la temperatura ambiente, y son más fuertes que las aleaciones alfa. Las aleaciones alfa – beta son más fuertes especialmente a temperaturas altas, y pueden fortalecerse un 35% por medio de tratamientos térmicos.

Entre las aplicaciones típicas de una aleación de titanio por ejemplo Ti-6Al-4V se incluyen discos y aletas de hélice de compresor de turbinas de gas para avión, accesorios forjados para estructuras de avión. La aleación Ti-8Mn se ha utilizado para forros y piezas estructurales primarias de avión sujetas a temperaturas en el intervalo de 200 a 600°F.

**ALEACIONES BETA**

Las aleaciones beta pueden reforzarse mediante tratamiento térmico. Las resistencias límite hasta de 215000 lb/pulg<sup>2</sup> con 5% de elongación son posibles después del tratamiento térmico. Las aleaciones beta se han utilizado para sujetadores de alta resistencia y para componentes aeroespaciales que requieren de alta resistencia a temperaturas moderadas.

En la siguiente tabla 7.8 se presentan las propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones de titanio.

**Tabla 7.8 Propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones al titanio.**

ALEACIONES	CONDICIÓN	TEMPERATURA AMBIENTE		
		RESISTENCIA TENSIL, lb/pulg <sup>2</sup>	RESISTENCIA A LA CEDENCIA, lb/pulg <sup>2</sup>	ELONGACIÓN, PORCENTAJE
<b>TITANIO COMERCIALMENTE PURO</b>				
Pureza comercial (99%)	Recocido	79 000	63 000	27
<b>ALEACIONES ALFA TITANIO</b>				
Ti-5Al-2.5Sn	Recocido	125 000	120 000	18
Ti-6Al-4Zr-1V	Recocido	143 000	138 000	17
Ti-8Al-1Mo-1V	HT <sup>1</sup>	147 000	135 000	16
<b>ALEACIONES ALFA-BETA AL TITANIO</b>				
Ti-8Mn	Recocido	138 000	125 000	15
Ti-4Al-4Mn	Recocido	148 000	133 000	16
	HT <sup>1</sup>	162 000	140 000	9
Ti-6Al-4V	Recocido	135 000	120 000	11
	HT <sup>1</sup>	170 000	150 000	7
Ti-7Al-4Mo	Recocido	160 000	150 000	15
	HT <sup>1</sup>	190 000	175 000	12
<b>ALEACIONES BETA AL TITANIO</b>				
Ti-3Al-13V-11Cr	HT <sup>1</sup>	180 000	170 000	6

<sup>1</sup>HT es generalmente después del endurecimiento por envejecido.

### 7.7 ALEACIONES DE PLOMO

El plomo se utiliza como metal puro para ciertas aplicaciones por su resistencia a la corrosión y para determinado tipo de juntas por su suavidad; también se preparan con base plomo metales antifricción, soldadura suave y metales para imprenta.

Entre las principales propiedades del plomo se encuentran peso elevado, alta densidad, maleabilidad, bajo punto de fusión y baja resistencia mecánica; además, tiene propiedades de lubricación, baja conductividad eléctrica, alto coeficiente de expansión y alta resistencia a la corrosión.

El alto peso del plomo lo hace adecuado para usos como pesos y contrapesos y su alta densidad para proteger contra rayos  $\beta$  y  $\gamma$ , su suavidad para hacer empaquetaduras y para uniones apretadas a martillo en tubos de hierro fundido y flexibilidad para forrar cables. Se aprovecha la alta resistencia a la corrosión del plomo utilizándolo para equipo en la industria química (como material para techos) y en la plomería (como tubo para transportar agua y sustancias químicas). El plomo se emplea para mejorar la maquinabilidad de bronce, latones y aceros de alta maquinabilidad.

El antimonio y el estaño son los elementos de aleación más comunes del plomo.

Las aleaciones de plomo que contienen bismuto, estaño y cadmio forman un eutéctico de bajo punto de fusión; además, son útiles en fusibles eléctricos, sistemas de rociado contra incendios y tapones para caldera.

La base de plomo proporciona bajo costo, bajo punto de fusión y facilidad de fundición; las adiciones de antimonio proporcionan dureza y resistencia al desgaste, además de disminuir la temperatura de fundición; las adiciones de estaño incrementan la fluidez, reducen la fragilidad y dan una estructura más fina.

Las aleaciones que tienen como base al plomo se conocen comercialmente como babbitts o aleaciones de metal blanco. Un grupo incluye las aleaciones de plomo - estaño - antimonio y generalmente arsénico, mientras que el otro incluye aleaciones de plomo y estaño con pequeños porcentajes de calcio, bario, magnesio y sodio. Estas aleaciones se utilizan para varillas de conexión en automóviles, cojinetes principales y cojinetes para eje de levas, etc.

En la tabla 7.9 se presenta la composición y propiedades mecánicas típicas e algunas aleaciones de plomo.

Cuando el plomo se encuentra aleado con otros elementos después de ser fundido tiende a aumentar su dureza que a medida que pasa el tiempo, fenómeno conocido como envejecimiento, siendo afectado de diferente forma por cada uno de los aleantes.

El efecto de cada aleante es difícil de medir y predecir, pero se ha observado que la variación de las propiedades mecánicas es proporcional a la diferencia entre radios atómicos del plomo y el aleante cuando se trata únicamente de un aleante. En el caso de emplearse dos o más aleantes resulta difícil predecir el resultado esperado, pero se pueden dar tópicos generales basándose en la experiencia en el trabajo con estos elementos.

En particular los aleantes Ca, Sb, Ag, Sn y Cu contenidos uno o más en una aleación mejora la resistencia a la corrosión.

Tabla 7.9 Composición nominal y propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones al plomo.

ALEACIONES	COMPOSICIÓN NOMINAL PORCENTAJE				CONDICIÓN	RESISTENCIA TENSIL, lb/pulg <sup>2</sup>	RESISTENCIA A LA CEDENCIA, lb/pulg <sup>2</sup>	ELONGACIÓN, PORCENTAJE	BHN	USOS TÍPICOS		
	Pb	Sb	Sn	OTROS								
Plomo químico	99.9+	---	---	---	Lámina rolada	2,385	1,180	29	---	Material de construcción en la industria química		
Plomo corrosivo	99.73+				Fundido en molde de arena. Fundido con molde frío	1,800 2,000	800 ---	30 47	3.2-4.5 4.2	Baterías de almacenamiento, forros para cables, pintura, calafateado, fluido antidetonante, metal líquido para tratamientos térmicos		
Plomo arsenical	Bal.	---	0.10	0.15As, 0.10 Bi	Cubierta extruída	2,500	---	40	4.9	Forros para cables		
Plomo al calcio	Bal	---	---	0.02B Ca	Extruído y envejecido	4,500	---	25	---	Forros para cables y tubería resistente a la fluencia		
Soldaduras suaves	97.5	---	1	1.5Ag		---	---	---	13	Revestido y unido de metales, soldadura de cuerpos		
	95	---	5			3,400	1,500	50	8			
	80	---	20			5,800	3,650	16	11.3			
	50	---	50			6,100	4,800	60	14.5			
Plomo al antimonio	99	1			Extruído y envejecido Fundido con molde frío	3,000		50	7	Forros para cables		
	91	9										
Plomo duro	96	4			Laminado en frío 95%. Laminado en frío 95%.	7,500 4,020		17 48.3	15.4	Placas para baterías de almacenamiento Lámina rolada y tubería extruída		
	94	96										
Carácter de metal	95	2.5	2.5		Fundido				12.4	Electrotipo Estereotipo Linotipo Monotipo Carácter de imprenta de fundición		
	80										6	23
	86										3	19
	78										7	24
	61										2 Cu	---
Babbitt de base plomo	85	0.75	12.75	1 As 3 As	Fundido con molde frío	10,000 10,500 10,350 9,800		5 4 2 1.5	19 22 20 22	Cargas ligeras, cojinetes de unión para carros Cargas moldeadas: sopladores, bombas Cargas pesadas, cojinetes para motores de disel Cojinete para temperatura elevada, camiones		
	SAE 13										5	10
	SAE 14										10	15
	SAE 15										1	15
	G										83.5	15

A continuación se observará el comportamiento general del plomo aleado cuando se emplean uno o más de los aleantes ya mencionados.

### **PLOMO-ANTIMONIO.**

La aleación es conocida como plomo antimonial y contiene de 1 a 13% de antimonio cuando el plomo es puro. El antimonio generalmente se añade al plomo para aumentar la temperatura de recristalización y para incrementar la dureza y la resistencia. Las aleaciones plomo – antimonio que contiene de 1 a 12% de antimonio se utilizan para placas de acumuladores eléctricos, forros de cables, tubos plegables y para construcción de edificios.

Esta aleación proporciona mejores propiedades mecánicas que el plomo puro y mayor resistencia a la corrosión. Además se vuelve más duro. En toda la gama de composiciones en antimonio hay una variación en las propiedades de la aleación, por ejemplo, se usa una aleación con no más de 13% de antimonio para fundiciones que requieren de gran dureza sin exceder este límite ya que tiende a volverse más quebradizo el metal y disminuye su resistencia a la corrosión. Aleaciones con 0.80 – 1.15% de Sb se emplean en el recubrimiento de cables, en tanto que aleaciones con 6 – 8% de Sb son útiles para tuberías y ánodos de celdas electrolíticas de recubrimiento anódico. El empleo específico en acumuladores, tiene una composición de 3 – 8% de Sb.

### **PLOMO-CALCIO.**

La utilidad de este elemento va acompañada de estaño. El intervalo es más estrecho. 0.03 – 0.1% Ca y en algunos casos 1.5%Sn. Tres factores son de notar en esta aleación: resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, y tiempo de envejecimiento o curado; siempre más sobresalientes y más reducibles que en el plomo antimonial. En el proceso con esta aleación es de extremo cuidado la correcta fundición ya que fácilmente se pierde el calcio por oxidación con el aire. Aleaciones de este tipo requieren trabajar a temperaturas mayores a las empleadas con el plomo antimonial, enfriándose y endureciendo rápidamente las piezas fundidas, ventajas que se pueden aprovechar para moldear piezas de gran sección transversal. Si después de la fundición se obtiene un grano fino se evita la recristalización a la temperatura ambiente.

En el moldeo con plomo fundido se hace necesario obtener un grano fino para que el metal sea homogéneo en su composición, los defectos como porosidad e inclusiones ocasionan que la corrosión no sea uniforme y la película protectora no esté bien distribuida presentando picaduras posteriormente.

En particular el estaño en la aleación de plomo-calcio le da mayor resistencia a la tensión pero se hace necesario emplear mayor tiempo de curado después de la fundición.

Su aplicación es en rejillas de acumuladores, recubrimiento de cables, ánodos, equipo para manejo de químicos y otras aplicaciones como barreras de protección contra la radiación.

### **PLOMO-ESTAÑO.**

Aunque las aleaciones plomo - estaño se utilizan más por sus características de fusión, como en soldadura, el estaño también incrementa la dureza y la resistencia. Las soldaduras que más se emplean son las que contienen aproximadamente 40% de estaño y 60% de plomo, o 50% de cada uno, con o sin pequeños porcentajes de antimonio. El metal Terne, una aleación plomo - estaño que contiene de 10 a 25% de estaño, es utilizado para recubrir laminas de acero para techos y en aplicaciones de tanques de combustible para automóviles.

Se ha observado que a medida que el contenido de estaño aumenta, la densidad y el punto de fusión disminuyen lo cual se aprovecha para el empleo de soldadura de bajo punto de fusión ya que la soldadura obtenida es de gran resistencia.

Combinado con antimonio la aleación Pb-Sn-Sb, le da mayor dureza a los recubrimientos y en algunos casos llegan a ser más resistentes a la corrosión. Esta aleación ternaria tiene un bajo coeficiente de fricción lo cual se aprovecha para usarse en rociadores de vapor de reactores.

Algunas de sus aplicaciones son en ánodos (7% Sn), en electrodeposición de cromo o en recubrimientos sobre cobre y acero.

### **PLOMO-TELURIO.**

Este aleante requiere de la presencia de cobre de lo contrario es poco resistente a la corrosión en algunas soluciones como ácido sulfúrico. Por lo anterior se le ha aleado con plomo químico en concentraciones como 0.04 - 0.05% Te y 0.04 - 0.08% Cu, concentración óptima y en ausencia de cobre el contenido de telurio es de 0.1% máximo. El grano obtenido (cuando se tiene cobre) está refinado y se puede trabajar en duro sin fracturarse al manipularse, siendo útil para los serpentines de vapor.

### **PLOMO-PLATA.**

Es de hacerse notar su resistencia a la corrosión al alear plata con plomo químico (0.002 - 0.2% Ag.), variando la composición dependiendo de la aplicación específica. En ánodos con variación de corriente, en aplicaciones de refrigeración electrolítica de zinc y magnesio o en ánodos para protección catódica de fondos de barcos se emplea una composición de 1% de Ag. En recubrimientos metalúrgicos sobre acero una aleación con 0.1% de plata es adecuada.

### **PLOMO-ARSÉNICO.**

Su utilización requiere de otros aleantes como Sn, Bi, Sb, y Te para obtener una aleación con buenas propiedades mecánicas y químicas. Un ejemplo de lo anterior es la aleación que contiene 0.15% de As, 0.1% de Sn y 0.1% de Bi que es un metal muy útil por su fácil manejo para dobles y resistente al arrastre, características necesarias en los recubrimientos de cables que se encuentran expuestos a vibraciones. Aleado con plomo antimonal endurece más rápidamente la aleación.

**PLOMO-COBRE Y OTROS.**

El cobre principalmente se ha utilizado como soporte de aleaciones.

Metales como:

- |      |      |
|------|------|
| • Cd | • Pt |
| • Li | • Mg |
| • Pd | • Zn |
| • Tl | • Au |
| • Co | • Ni |
|      | • Na |

Se han probado para observar su resistencia a la corrosión.

## **CAPITULO VIII**

## CERÁMICOS

### 8.1 GENERALIDADES

La palabra cerámico deriva del griego "keramos", lo cual significa materia quemada. Este término fue utilizado por civilizaciones antiguas que encontraron que la arcilla debía ser mezclada con agua, formada, secada y puesta en fuego para endurecerla. La definición actual es más extensa. Incluye no solamente los materiales tradicionales hechos por calentamiento, sino también sustancias altamente refinadas y sintetizadas para modernas aplicaciones químicas, eléctricas, magnéticas, ópticas y mecánicas.

Dentro del mundo de los materiales sólidos se puede hacer la clasificación de tres grupos en general, los cuales son: Metales, Orgánicos e Inorgánicos, de igual manera los materiales inorgánicos se dividen en dos categorías: cristalinos y amorfos, y ya dependiendo de sus estructuras microscópicas y macroscópicas se les considera como cristales únicos o policristales.

La mayoría de los materiales cerámicos están compuestos de materiales inorgánicos no metálicos. Se usan como cuerpos sólidos o capas, reducen la fricción, tienen y proveen resistencia a la corrosión a alta temperatura y/o protección térmica. Se incluye en este grupo los cementos, refractarios, óxidos, carburos, nitruros y cermets. La mayoría de estos materiales son completamente cristalinos. Los átomos de un material cerámico se unen principalmente por enlaces covalentes o iónicos. En enlaces covalentes los electrones son compartidos, pero solamente por dos átomos adyacentes. Esto resulta en un enlace direccional. Tales enlaces pueden producir estructuras de tres dimensiones rígidas y fuertes tales como el diamante, carbono de silicón o nitrato de silicón, estructuras de cadenas fibrosas tales como asbesto y estructuras laminares tales como grafito, mica y arcilla. Las características de cerámicos covalentes incluyen altas durezas, productos químicos más inertes, no dúctiles, baja expansión térmica y baja conductividad eléctrica.

Los enlaces iónicos involucran transferencia de uno o más electrones entre átomos adyacentes, produciendo iones de carga opuesta, unidos por atracción coulombica, ejemplos de cerámicos con enlace iónico incluye cloruro de sodio, fluoruros de calcio, y óxido de magnesio.

Los cerámicos iónicos forman estructuras empacadas similares a los que forman los metales puros, excepto que sin electrones libres presentes y átomos alternados de sustancias de diferentes medidas. Como resultado, los cerámicos iónicos tienen baja ductilidad, alta expansión térmica y baja conductividad eléctrica; algunos tienen conductividad iónica a alta temperatura debido a la difusión de los iones cargados a través de la estructura. Como ejemplo de esto es el  $ZrO_2$  a alta temperatura, la

carga negativa de los iones de oxígeno pueden moverse a través de la estructura y llevar corriente eléctrica. Este material ha sido usado en sensores de oxígeno para monitorear el nivel de combustión en procesos industriales.

## **8.2 CLASIFICACIÓN**

### **8.2.1 OXIDOS DE METAL**

Oxido de aluminio. Este es probablemente el de mayor uso en la industria. Muestra comportamiento de corrosión anfotérico y puede ser susceptible de un ataque ácido y alcalino.

Dióxido de Silicio. Este material es frecuentemente usado como silicio amorfo fundido para mayor resistencia a la corrosión ácida a alta temperatura. El dióxido de silicio también es usado en conjunción con muchos otros óxidos de metales, por ejemplo con óxido de aluminio para formar la mullite y con óxido de circonio para formar circón.

Oxido de circonio. Este es un cerámico más caro que los anteriores porque debe ser estabilizado con calcio, magnesio o itrium para prevenir la degradación térmica. Esto da una excelente protección térmica.

Oxido de cromo. En combinación con el óxido de silicio y aluminio es usado como un componente en capas resistentes a la corrosión a altas temperaturas. Se usa también en ladrillos ácidos.

Oxido de magnesio. Este es un cerámico con buena protección térmica que muestra alta reflectividad, pero tiene pobre resistencia ácida.

### **8.2.2 CARBUROS Y NITRUROS DE METAL.**

Excepto los carburos de silicio, pocos carburos de metal son usados para resistencia a la corrosión. Muchos, tales como el carburo de tungsteno y tantalio son usados para resistencia al desgaste.

El carburo de silicio es un material único debido a la fuerza de enlace interactiva entre el silicio y el carbón y a su estructura cristalina compacta. La estructura lo hace extremadamente resistente al ataque químico erosivo en ambientes reductores. Ofrece beneficios excepcionales en altas temperaturas y aplicaciones donde requieran resistencias al desgaste, tales como intercambiadores de calor, componentes de recuperadores, sellos mecánicos y superficies resistentes a la abrasión.

Carburos de silicón alfa. Este material no contiene silicio libre o carbono grafito, de esta forma la resistencia a la oxidación se mejora significativamente. Este

cerámico tiene buena resistencia al choque térmico, un bajo coeficiente de fricción, estabilidad térmica a 3000°F en aire, buenas propiedades físicas, excepcional resistencia química y buena conductividad térmica.

**Nitruros de metal.** Los nitruros de metal especialmente el boro y silicio, se usan como capas debido a su resistencia al desgaste. Sin embargo, tiene buena resistencia a la corrosión con estabilidad térmica. Por su bajo coeficiente de fricción son usados extensivamente en cojinetes.

### **8.3 PROPIEDADES**

Las propiedades de los cerámicos son resultado de una combinación de los efectos del enlace atómico y la microestructura. Los efectos de enlaces se reflejan primeramente en las propiedades intrínsecas-químicas, físicas, térmicas, eléctricas, magnéticas y ópticas. La microestructura puede también afectar algunas de las propiedades intrínsecas, pero tienen mayor efecto sobre las propiedades mecánicas y sobre la velocidad de reacción química.

#### **8.3.1 TEMPERATURA DE FUSIÓN.**

Muchos cerámicos son usados en aplicaciones que requieren una alta temperatura de fusión y estabilidad química. La temperatura de fusión es función de la fuerza del enlace atómico.

Los metales alcalinos enlazados débilmente (Na) y los cerámicos iónicos monovalentes (NaCl) tienen baja temperatura de fusión, enlaces más fuertemente unidos de metales de transición (Fe, Ni, Co) y cerámicos iónicos multivalentes (BeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>) tienen mucha más alta temperatura de fusión. Enlaces más fuertemente unidos como metales (W) y cerámicos covalentes (TiC, HfC) tienen las más altas temperaturas de fusión.

#### **8.3.2 CONDUCTIVIDAD TERMICA.**

La conductividad térmica es controlada por la cantidad de energía presente calorífica, la naturaleza del calor transportado en el material y la cantidad de calor disipado. El primer camino para llevar calor en los cerámicos es por la radiación y vibración del enrejado. Los materiales cerámicos tales como el diamante, grafito, BeO, SiC y B<sub>4</sub>C, los cuales tienen simples estructuras hechas de átomos de peso atómico similares, transfieren calor rápidamente por vibraciones de la red debido a esto tienen altas conductividades térmicas. Estructuras más complejas de cerámicos tienen disipaciones más grandes o atenuaciones de las vibraciones de la red y por lo tanto más bajas conductividades térmicas. Los cerámicos porosos, cerámicos en polvo y cerámicos de fibras agregadas contienen espacios con aire que provocan más bajas conductividades térmicas.

#### **8.3.3 EXPANSION TERMICA**

La velocidad de expansión térmica de metales y cerámicos está determinado por la fuerza de enlace y la estructura atómica. A mayor fuerza de enlace la expansión

es más baja. Los cerámicos iónicos tienen estructuras atómicas empaçadas y una expansión térmica relativamente lenta. Por otra parte, los enlaces covalentes son direccionales y producen estructuras con grandes espacios abiertos. Cuando un cerámico covalente se calienta, una porción de la expansión puede ser absorbido por el espacio abierto dentro de la estructura o por cambios de ángulos de enlaces, lo que resulta una baja expansión térmica.

Los materiales cerámicos tales como el silicato, aluminio, litio, sílica fundida y silicato-aluminio-magnesio tienen bajas velocidades de expansión térmica.

### **8.3.4 DUCTILIDAD.**

La ductilidad se favorece por el movimiento se deslocaliza a lo largo del plano de los átomos. Los cerámicos iónicos tienen estructuras empaçadas similares a los metales puros y de esta forma tienen muchos planos potenciales de deslizamientos. Sin embargo debido a la carga eléctrica opuesta de iones adyacentes, cada ion es estable solamente en una posición de equilibrio y coordinación. Se requiere de una energía más alta de activación respecto a los metales, para mover iones cargados opuestamente y causar deslizamiento. En muchos casos esta energía de activación es más alta que la energía requerida para iniciar la fractura a través de esfuerzos de concentración en la superficie o falla de material interno.

La situación es similar para los cerámicos covalentes. La direccionalidad del enlace coloca a los átomos en posiciones de equilibrio que requieren altas energías de activación para el deslizamiento. Los cerámicos fallan de un modo quebradizo debido a la presencia de fallas de fabricación y es estructural que resultan en esfuerzos de concentración y fractura a una carga muy por debajo de la resistencia teórica. Muchos cerámicos se fracturan a una carga aplicada de menos de 100000psi. Los cerámicos pueden tener altas resistencias, por ejemplo  $Al_2O_3$ , SiC  $Si_3N_4$  tienen resistencias más grandes de 50000psi. Estos serán adecuados para muchas aplicaciones de procesos químicos. Sin embargo, por su naturaleza quebradiza, los componentes cerámicos deben ser diseñados cuidadosamente para evitar esfuerzos de concentración localizados resultando del impacto, adhesión, hendiduras, gradientes térmicos u otras fuentes.

### **8.3.5 DUREZA**

La mayoría de los cerámicos no son duros. Cuando se inicia una fractura se propaga rápidamente resultando en una fractura de la pieza. El diseño primario se hace para un esfuerzo del cerámico a la compresión por concentración adecuada o laminación. Esto no incrementa la dureza del cerámico pero incrementa la resistencia a la fractura inicial.

Varias técnicas son usadas para incrementar la resistencia a la fractura y se pueden enunciar las siguientes: dispersión en segunda fase y reforzamiento de fibra. Como ejemplo de la dispersión en segunda fase se encuentra la manufactura de los cerments, que son composición metal-cerámicos, tales como WC-Co y TiC-

Ni. Las pequeñas adiciones de aleaciones dúctiles como Co y Ni permiten la redistribución de una carga aplicada y minimiza la concentración por esfuerzo (stress) que normalmente causa iniciación de fractura y propagación en el cerámico quebradizo. Sin embargo los cerments no son apropiados para algunas aplicaciones debido a la corrosión u oxidación de la fase metal. El cerámico dual de composición particular se ha venido desarrollando para satisfacer estas aplicaciones. Las partículas finas de un cerámico son dispersadas en un cerámico matriz teniendo diferente módulo elástico y expansión térmica.

### **8.3.6 RESISTENCIA QUIMICA.**

La mejor característica que hace a un cerámico atractivo para plantas de proceso químico es la estabilidad química en un amplio rango de temperatura. Los cerámicos que tienen fuertes enlaces iónicos y covalentes y alta pureza son más resistentes al ataque químico. Estos cerámicos generalmente no se encuentran en la corteza terrestre, en lugar de ello debe ser sintetizado o cuidadosamente procesado, por ejemplo el óxido de aluminio.

### **8.4 APLICACIONES**

Los productos cerámicos tienen una enorme variedad de aplicaciones, comenzando con el ladrillo común para la construcción para la construcción, pasando por las porcelanas delicadas y llegando al vidrio óptico especializado.

Para los hornos y cazos se emplean recubrimientos, ya sean de ladrillos o monolíticos.

Silice.- Este material,  $\text{SiO}_2$  se emplea en hornos de ladrillos refractarios donde hay altas temperaturas, como en la fabricación de acero (3000 °F, 1649 °C).

Alúmina.-  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , se emplea extensamente como materia prima en las mezclas cerámicas y también en estado puro.

Magnesia.-  $\text{MgO}$ , se usa como materia prima y es refractaria.

Carbono.- En su estructura laminar, tiene excelentes propiedades como lubricante y también propiedades semimetálicas tales como alta conductividad eléctrica y térmica, paralela a las láminas. En la forma de diamante, el enlace covalente perfecto en toda la masa conduce a la mayor dureza conocida.

Los materiales cerámicos para uso eléctrico pueden dividirse en aisladores grandes como los que se emplean en las líneas de alta tensión y componentes eléctricos pequeños como los condensadores e imanes.

Los aisladores grandes se producen de una porcelana triaxial, tal como el 60% de caolín, 20% de feldespato y 20% de silice. Se utiliza fundición por revestimiento especializado o formando plástico. Se emplean vidriados especiales por dos razones: primera, el coeficiente de expansión de la superficie vidriada es menor que el de porcelana; segunda, en algunos casos se emplea una superficie vidriada semiconductora para igualar la carga. Se debe observar que una superficie vidriada disminuye la porosidad donde el agua pudiera infiltrarse y causar un corto circuito.

## **CAPITULO VIII**

Los cerámicos  $Al_2O_3$  y SiC (carburos de silicio) son usados en la industria minera como revestimientos de bombas, canales, ciclones y depósitos de almacenaje. Se usan en la producción de aceite y gas, debido a la alta abrasividad del lodo y los desechos de los barrenos y las altas temperaturas con ácido sulfhídrico que se encuentran en los pozos profundos. Aquí, el óxido de aluminio y el carburo de silicio se usan para componentes tales como revestimientos de bombas de lodos, lanzadores, émbolos de bombas de salmuera y válvulas de compuerta. La dureza y la estabilidad química de estos cerámicos proveen un incremento sustancial en la vida de servicio comparado con los metales.

Los cerámicos se usan como materiales inertes para una amplia variedad de reactivos químicos, desde corrosivos a bajas temperaturas o fluidos erosivos hasta gases corrosivos a altas temperaturas.

Se usan en general los cerámicos en procesos petroquímicos como en las unidades de craqueo catalítico, reformadores catalíticos y reformadores secundarios. Las unidades de craqueo catalítico generalmente operan en el rango de  $540^\circ$  a  $760^\circ C$  con variación de la atmósfera desde oxidante o reductora en diferentes secciones de la unidad.

Los cerámicos se usan también como componentes de máquinas caloríficas, intercambiadores de calor, mecanismos de control electrónico en estado sólido, sensores y una variedad de otros mecanismos de plantas de proceso. Los carburos y nitruros de silicio ( $Si_3N_2$  y SiC) están siendo desarrollados para aplicaciones en intercambiadores de calor y máquinas caloríficas debido a su excelente resistencia a choques térmicos, a la oxidación a altas temperaturas y a la corrosión. La razón para usar un cerámico es para incrementar la eficiencia por incremento de la temperatura a la cual la máquina o el intercambiador puede operar.

## **CAPITULO IX**

## PLÁSTICOS

Hace cien años, al mencionar el término plástico, éste se podía entender como algo relativo a la producción de formas o las artes plásticas, la pintura, la escultura, el moldeado. En la actualidad, esta palabra se utiliza con mayor frecuencia y tiene un significado que implica no sólo arte, sino también tecnología y ciencia.

**Plásticos** es una palabra derivada del griego "**Plastikos**" que significa "capaz de ser moldeado", sin embargo, esta definición no es suficiente para describir de forma clara a la gran variedad de materiales que así se denominan.

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico formadas por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural. Es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión.

Los plásticos son parte de la gran familia de los polímeros.

Polímero es una palabra de origen latín que significa poli = muchas, y mero = partes; de los cuales se derivan también otros productos como los adhesivos, recubrimientos y pinturas.

La denominación de los plásticos se basa en los monómeros que se utilizaron en su fabricación, es decir en sus materias primas.

Las sustancias de alto peso molecular se conocen como polímeros, un polímero es una sustancia compuesta por moléculas caracterizadas por la repetición múltiple de una o más especies de átomos o grupos de átomos (monómeros o unidades constitucionales) unidas químicamente para formar estructuras en forma de cadena.

Dependiendo de su composición, los polímeros pueden ser:

**a) Homopolímeros.**- Constituidos por unidades de un mismo monómero, por ejemplo el poliestireno, formado a partir del monómero de etileno, exclusivamente.

**b) Copolímeros** Constituidos por dos o más unidades químicas de diferentes monómeros, los que reaccionan entre sí para formar la cadena de polímero, por ejemplo el PVC (cloruro de polivinilo).

En los homopolímeros termoplásticos se antepone el prefijo "poli" por ejemplo:

Monómero Inicial      ➔      Metil metacrilato

Nombre del polímero   ➔      Polimetil Metacrilato

# FALTAN PAGINAS

De la:

**132**

A la:

**135**

Como se puede observar, los nombre quimicos de los polimeros con frecuencia son muy largos y dificiles de utilizar. Para aligerar este problema se introdujeron las "siglas" o acrónimos para el ejemplo citado, su acrónimo es:

Nombre del polímero ➔ Polimetil Metacrilato

Acrónimo ➔ PMMA

La mayor parte de estos acrónimos han sido normalizados. Sin embargo, algunos han sido inventados por los fabricantes o surgieron de la misma actividad práctica.

ACRONIMO	PLASTICO
ABS	ACRILONITRILLO-BUTADIENO-ESTIRENO
CA	ACETATO DE CELULOSA
EP	EPOXICA
EPS	POLIESTIRENO EXPANSIBLE
EVA	ETIL VINIL ACETATO
HDPE	POLIESTIRENO ALTA DENSIDAD
LDPE	POLIESTIRENO BAJA ENSIDAD
MF	MELANINA FORMALDEHIDO
PA	POLIAMIDA
PB	POLIBUTADIENO
PBT	POLIBUTILEN TEREFALATO
PC	POLICARBONATO
PEI	POLIESTERIMIDA
PES	POLIESTERSULFONA
PET	POLIETILEN-TEREFALATO
PF	FENOL-FORMALDEHIDO
PMMA	POLIMETIL METACRILATO
POM	POLIOXIDO DE METILENO
PP	POLIPROPILENO
PPS	POLIFENILEN SULFONA
PS	POLIESTIRENO
PTFE	POLITETRAFLUOROETILENO
PUR	POLIURETANO
PVC	CLORURO DE POLIVINILO
SAN	ESTIRENO-ACRILONITRILLO
SB	ESTIRENO BUTADIENO
TPE	ELASTOMERO TERMOPLASTICO
TPU	POLIURETANO TERMOPLASTICO
UHMWPE	POLIETILENO ULTRA ALTO PESO MOLECULAR
UF	UREA-FORMALDEHIDO
UP	POLIESTER INSATURADO

## 9.1 OBTENCION.

### 9.1.1 MATERIAS PRIMAS.

La materia prima más importante para la fabricación de plásticos es el petróleo, ya que de él se derivan los productos que originan diferentes tipos de plásticos. Es importante mencionar que también otras materias primas para la fabricación de plástico son las sustancias naturales como la madera y el algodón de donde se obtiene la celulosa, así como otros plásticos se obtienen del carbón y el gas natural. Todas las materias primas mencionadas tienen en común el hecho de contener carbono (C) e hidrógeno (H). También puede estar presentes el oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S) o cloro (Cl).

En general, se considera al etileno, propileno y butadieno como materias primas básicas para la fabricación de una extensa variedad de monómeros, que son la base de todos los plásticos.

### 9.1.2 REACCIONES DE SINTESIS.

Como se ha mencionado, los polímeros son el resultado de la modificación de productos naturales o bien de reacciones de síntesis partiendo de las materias primas más elementales.

Son reacciones químicas llevadas a cabo con un catalizador, calor o luz, en las cuales dos o más moléculas relativamente sencillas (monómeros) se combinan para producir moléculas muy grandes. A esta reacción se le llama polimerización.

Los plásticos se obtienen generalmente por vías sintéticas, las principales son:

- Radicales libres.
- Policondensación.
- Poliadiación.

#### POLIMERIZACIÓN POR RADICALES LIBRES.

En este tipo de reacciones el doble enlace entre los dos átomos de carbono juega un papel decisivo, ya que el proceso consiste en el acoplamiento de monómeros, mediante la ruptura de sus dobles enlaces y la consiguiente unión de eslabones individuales para formar cadenas, sin que el proceso desprenda ningún producto secundario.

#### POLICONDENSACION.

Durante las reacciones de policondensación se pierden moléculas de agua. Este tipo de pérdida se conoce como condensación, de donde se deriva el nombre de este proceso.

Para que se lleve a cabo la reacción de policondensación es necesaria la participación de moléculas que posean dos grupos funcionales distintos, que reaccionen perdiendo partes de sí mismos, y se condensan en forma de agua

### **POLIADICION.**

La reacción de poliadición transcurre de manea análoga a la policondensación. La diferencia es que no se produce pérdida de moléculas, sino que un átomo de hidrógeno migra desde un grupo funcional a otro. Para la formación de un enlace por adición, los monómeros iniciales tienen que ser por lo menos bifuncionales.

La poliadición tiene algunas ventajas sobre la polimerización por radicales libres y or policondensación, tales como:

- Rapidez.
- Buena eficiencia.
- Ausencia de subgrupos.

### **9.1.3 TIPOS DE POLIMERIZACIÓN.**

Existen 4 métodos para la fabricación de polimeros:

- Polimerización en Masa.
- Polimerización en Solución.
- Polimerización en Suspensión.
- Polimerización en Emulsión.

#### **POLIMERIZACIÓN EN MASA.**

En este método se hace reaccionar el monómero puro con aditivos en un reactor. El calor de reacción hace generalmente que el polímero se mantenga en estado líquido fundido, normalmente a muy altas temperaturas, por lo que se hace necesario refrigerar. Existe una gran vigilancia en el control de temperaturas y se recomienda cuando se requieren polimeros especiales de alta pureza y calidad.

#### **POLIMERIZACIÓN EN SOLUCIÓN.**

En este caso el polímero se diluye en un solvente con catalizador. Debido a que la recuperación del solvente es limitada, el procedimiento resulta caro y únicamente se recomienda cuando no se desean materias sólidas, sino solo disoluciones. En este proceso la temperatura puede elevarse mucho por lo que es necesario un reactor con agitación. Cuando se ha llevado a cabo la reacción, el producto de la polimerización se precipita formando un polvo fino que puede aislarse cuando se evapora el solvente.

#### **POLIMERIZACIÓN EN SUSPENSIÓN.**

Con este método se obtiene un producto de alta calidad. Aquí se mezcla el monómero y el iniciador dispersándose en agua mediante un sistema de agitación que mantiene la suspensión durante la reacción. De este modo también se controla la temperatura y el producto obtenido tiene la apariencia de pequeñas perlas.

## POLIMERIZACIÓN POR EMULSIÓN.

En este caso, el monómero finamente dividido se emulsiona en agua o en otro líquido dispersante. Cuando se opera una gran cantidad de agua, a la que se ha adicionado el monómero junto con un aditivo emulsionante, puede controlarse muy bien la temperatura.

El desarrollo de la reacción es mucho más rápido que en los demás tipos de polimerización y se pueden obtener polímeros de mayor peso molecular.

Para comprender mejor estos conceptos, se incluye a continuación algunas definiciones:

- **Dispersión.**- Distribución de materias líquidas o sólidas. Sistema de dos o más sustancias, en el que una de ellas se encuentra dentro de la otra en un estado de división menos fino.
- **Emulsión.**- Sistema disperso (líquido - líquido) en el que una sustancia está distribuida en la otra en forma de pequeñas gotas.
- **Suspensión.**- Sistema disperso (sólido - líquido), en el que la parte dispersa consta de pequeñas partículas sólidas.

Los plásticos son una familia de materiales, en donde cada uno de sus miembros, posee ventajas y propiedades distintivas y especiales. Por ejemplo, un plástico puede ser suave (poliuretano), o duro (melamina); claro (acrílico) u opaco (resinas fenólicas); resistentes al calor (silicones) o ablandado por el agua caliente (polietileno); más ligero que el agua (polipropileno) o más pesado que el plomo (epoxidado cargado con plomo), dependiendo de la materia prima y del proceso de fabricación, así como de los aditivos agregados para modificar o mejorar las propiedades de cada plástico.

Puesto que existe una gran variedad de ellos, cada uno provee un balance de propiedades dado, lo que permite al ingeniero o al diseñador del producto terminado, una considerable libertad para escoger un tipo particular que cumpla con todos los requerimientos de procesado, demanda final y efectividad de costos; sin embargo, el éxito final depende no solo de la correcta selección del plástico, sino considerando también las condiciones del proceso utilizado. De aquí la importancia de conocer el comportamiento fisicoquímico y mecánico de los mismos.

Algunas ventajas y desventajas de los plásticos son las siguientes:

### Ventajas

- Alta resistencia eléctrica.
- Baja constante dieléctrica.
- Baja conductividad térmica.
- Alta relación de resistencia a la tracción a peso (plásticos reforzados).
- Facilidad de formado.
- Pocos o ningún problema de corrosión.
- Baja proporción de costo de material/producción.
- Baja densidad.

### Desventajas

- Baja resistencia a la compresión, al esfuerzo cortante y al esfuerzo de apoyo.
- Limitaciones en el uso prolongado a temperaturas elevadas.
- Añejamiento y efectos de la temperatura en ciertos climas.
- Fatiga en condiciones de esfuerzo por carga.

## 9.2. CLASIFICACION.

Hoy en día existen varios tipos de plásticos por ello su comportamiento y características son determinantes para su uso.

Los criterios de clasificación deben evaluar a los distintos plásticos según sus propiedades, comportamiento en la transformación o su aplicación, es decir, aspectos que puedan usarse en la práctica.

Con base a este criterio, los polímeros se clasifican en **Termoplásticos, Termofijos y Elastómeros.**

### 9.2.1 TERMOPLASTICOS.

Incluyen polímeros como Polietileno, PVC y Polipropileno. Consisten en macromoléculas lineales o ramificadas, unidas unas con otras mediante fuerzas intermoleculares.

Los termoplásticos se caracterizan por transformarse de sólido a líquido y viceversa por acción del calor, se disuelven o por lo menos se hinchan al contacto con solventes.

En estado sólido pueden deformarse permanentemente después de aplicar una fuerza. Esto se debe a que sus macromoléculas están libres o sueltas unas de otras y pueden deslizarse entre sí ante la aplicación de calor. A temperatura ambiente pueden ser blandos o duros, frágiles y rígidos. Su comportamiento se deriva de la misma estructura molecular, ya que las moléculas tienen forma de cadena abierta o de hilos.

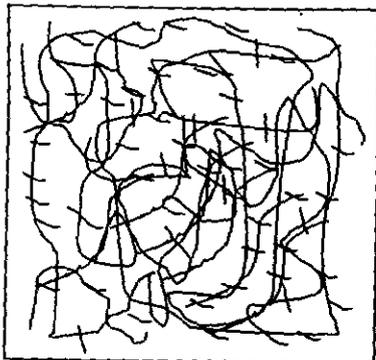
La capacidad de los termoplásticos de reblandecerse o fundirse tiene sus ventajas. Por ejemplo pueden moldearse por calor, es decir, una lámina o un tubo pueden pasar a un estado elástico, similar al de la goma blanda, y adquirir nueva forma después de enfriarla en un molde. Además, los termoplásticos pueden soldarse y sus desechos son reciclables.

Como ejemplos de materiales termoplásticos tenemos al polietileno, poliestireno, polipropileno, policloruro de vinilo, ptereftalato de etilo, nylon, etc.

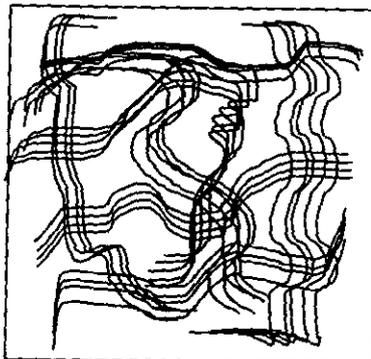
Las desventajas consisten en que el reblandecimiento provocado por el calor limita en gran manera sus temperaturas de uso, sobre todo cuando se someten a la acción simultánea de fuerzas mecánicas. Los termoplásticos se subdividen en amorfos y semicristalinos.

#### a) *Amorfos*

Los termoplásticos amorfos se caracterizan porque sus moléculas filamentosas y ramificadas están en completo desorden, este arreglo molecular permite el paso de la luz, razón por la cual los plásticos amorfos son transparentes o translúcidos generalmente.



Moldeo Estructural de un Termoplástico Amorfo



Moldeo Estructural de un Termoplástico Semicristalino

b) *Semicristalinos*

El orden molecular de los plásticos semicristalinos es relativamente bueno. En el se aprecia cierto paralelismo dentro de los filamentos moleculares y sus ramificaciones más cortas. El ordenamiento de los tramos de las macromoléculas paralelas equivale al ordenamiento de átomos o moléculas en forma de cristales, los cuales se oponen al paso de la luz provocando una apariencia lechosa o translúcida.

**9.2.2 TERMOFIJOS.**

Los plásticos que se mantienen rígidos y sólidos a temperaturas elevadas se denominan termofijos. Se obtienen por reticulación de productos líquidos de bajo peso molecular. Están reticulados en todas direcciones y debido a su estructura no son moldeables plásticamente, son infusibles y resisten altas temperaturas, no pueden ser disueltos y raramente se hinchan. A temperatura ambiente generalmente son duros y frágiles. No son reciclables. Algunos ejemplos de materiales termofijos son las resinas fenólicas, las ureas, las melaminas, etc.

**9.2.3 ELASTOMEROS.**

Son materiales elásticos que recuperan casi totalmente su forma original después de liberar una fuerza sobre ellos. Son insolubles y no pueden fundir mediante aplicación de calor, es decir, pueden descomponerse químicamente cuando se calientan más allá de su temperatura máxima de servicio. Este comportamiento se debe a que las macromoléculas de elastómeros, en contraste con las de los termoplásticos, están entrecruzadas por enlaces químicos.

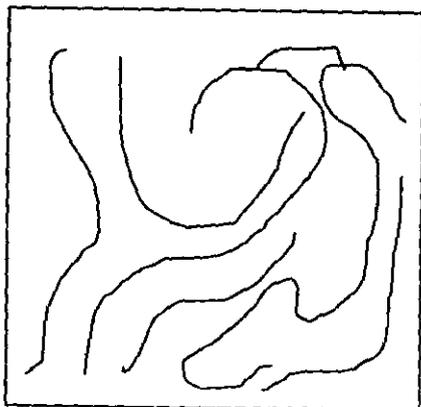
Los elastómeros se producen a partir de formulaciones que incluyen gran variedad de ingredientes que se mezclan para formar un compuesto. Estos

compuestos son generalmente masas viscosas y pegajosas porque utilizan al elastómero sin curar. Durante la vulcanización o reticulación, las cadenas moleculares de polímero se unen mediante enlaces químicos amplios. El desperdicio de los productos reticulados, en términos prácticos no puede ser reciclado.

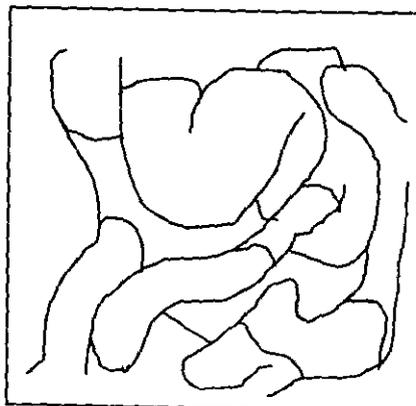
### 9.2.3 1 ELASTOMEROS TERMOPLASTICOS.

Este grupo de materiales combina propiedades especiales de los elastómeros con las posibilidades de transformación de los termoplásticos. Son copolímeros en bloque y aleaciones entre polímeros que poseen propiedades elásticas dentro de cierto rango de temperatura. Las propiedades elásticas de deben a la existencia de enlaces físicos provocadas por fuerzas intermoleculares secundarias, tales como uniones de hidrógeno. Estos enlaces desaparecen cuando se calientan arriba de ciertos rangos de temperatura y se restituyen inmediatamente después de que se enfrían, para desarrollar sus propiedades elastoméricas.

Los Elastómeros Termoplásticos, llenan un hueco entre los Polímeros Termoplásticos y los Elastómero Reticulares. Pueden ser procesados e incluso reciclados de manera similar a los materiales termoplásticos, sin necesidad de vulcanización.



Modelo Estructural de un Elastómero



Modelo Estructural de Elastómero Termoplástico.

#### Polaridad.

La polaridad de los compuestos orgánicos se debe al desplazamiento de los electrones compartidos entre los átomos de dos distintos elementos que constituyen la molécula, debido principalmente a las diferencias de número atómico. El par de electrones compartido es atraído con mayor fuerza por el átomo que presente mayor carga en el núcleo.

A medida que aumenta la polaridad, aumentan también los valores de las propiedades como resistencia mecánica, dureza, rigidez, resistencia a la deformación por calor, absorción de agua y humedad, resistencias al solventes y aceites minerales, permeabilidad al vapor de agua, adhesividad y adherencia sobre piezas metálicas y cristalinidad.

Por otro lado, cuando la polaridad aumenta, disminuyen las propiedades de dilatación térmica, poder de aislamiento eléctrico, la tendencia a acumular cargas electrostáticas, la permeabilidad a gases no polares  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ .

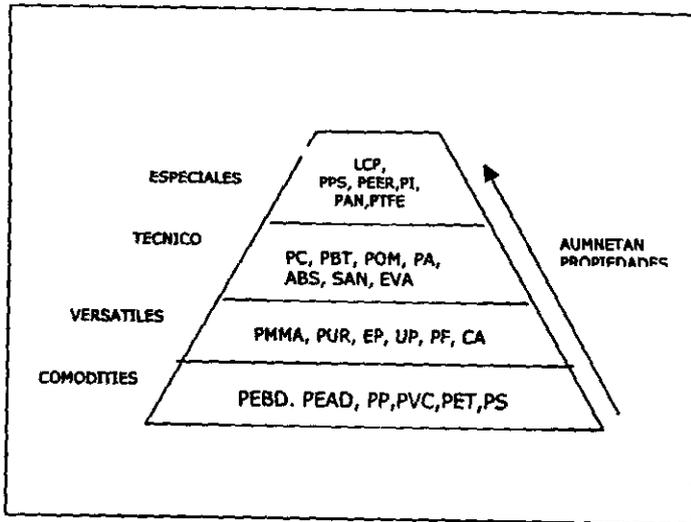
Ejemplos de esta clasificación son:

- Alta Polaridad: Poliamidas, Poliuretanos, Esteres de Celulosa, Polifluoruro de Vinilo, Polifluoruro de Vinilideno y Plásticos Termofijos.
- Polaridad Media: Estireno-Acrilonitrilo, Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno, Policloruro de Vinilo y sus Copolímeros, Termoplásticos tipo Ester, Poliamidas.
- Polaridad Baja: Copolímeros de Etileno y Esteres insaturados (EVA), Etileno-Tetrafluoroetileno, Polióxido de Fenileno.
- No Polares: Polietileno, Polipropileno, Poliestireno, Politetrafluoroetileno.

Los dipolos pueden anularse por efectos direccionales. Un Ejemplo lo tenemos en el grupo C-H dentro del conjunto H-C-H, que no contribuye a la polaridad ya que están en estado opuesto y se anulan. Esto explica porque el Polietileno y el Politetrafluoroetileno no son polares.

### 9.3.0 CLASIFICACIÓN POR CONSUMO.

Aunque resulta un poco subjetiva, la clasificación por consumo agrupa a los plásticos de acuerdo a su importancia comercial y sus aplicaciones en el mercado. En el siguiente esquema se muestra una pirámide, según esta clasificación: en la base se encuentran los plásticos de mayor consumo denominados *Comodities*, seguidos de los *Versátiles Técnicos y Especialidades*. Solamente se mencionan las siglas de los plásticos más importantes en el ámbito comercial.



### 9.3.1.COMODITIES.

Los plásticos más utilizados que tienen buenas, aunque no sobresalientes propiedades y su precio son de un nivel moderado se conocen como "Comodities" pueden ser comparados con el aluminio y el acero en la industria metal-mecánica. Consisten principalmente en cuatro polímeros termoplásticos, polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo (PVC) y poliestireno. Ultimamente se ha agregado a estos cuatro polímeros el politereftalato de etilo (PET), usado ampliamente en los procesos de moldeo por soplado. Los plásticos de gran volumen, representan alrededor del 90% de toda la producción de termoplásticos; el resto se divide en copolímeros de butadieno-estireno, copolímeros de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), poliamidas y poliésteres.

### 9.3.2 VERSÁTILES.

Existe también un grupo de plásticos intermedio en consumo que se caracteriza por requerir alta creatividad para el diseño de productos, principalmente en aspectos de apariencia, color, forma, al cual se ha denominado como "versátiles". Incluye plásticos como el Acrílico, Poliuretano y el grupo de plásticos termofijos como el Silicón, Resinas Poliéster y Epóxicas.

### 9.3.3 PLÁSTICOS TÉCNICOS O DE INGENIERIA.

El término "Técnicos" o de "Ingeniería" se usa para aquellos plásticos que presentan un alto desempeño funcional con un excelente conjunto de propiedades tales como resistencia mecánica y límites de temperatura elevados, mayor resistencia al impacto, mayor dureza y tienen la capacidad de ser moldeados con estándar de alta precisión, por lo que pueden competir con los metales, los cerámicos y el vidrio en muchas aplicaciones. Estos son además, significativamente más caros y en este grupo se incluyen a las Poliamidas, Poliacetales, Policarbonato y Poliéster Termoplástico, las resinas ABS, el Nylon, Acrilonitrilo-estireno (SAN). Las resinas ABS y el Poliéster Termoplástico están en la línea divisoria entre los plásticos Comodities y los de ingeniería pues tienen variedades en ambos grupos.

### 9.3.4 ESPECIALIDADES.

Los polímeros denominados como "Especialidades" normalmente son asociadas con una o más propiedades sobresalientes, por ejemplo, bajo índice de refracción, elevada resistencia dieléctrica y sobre todo un elevado precio por lo que ocupan el menor porcentaje en el consumo global de plásticos.

### 9.4.0 MODIFICACIONES.

La industria consumidora de plástico ha planeado sus propias demandas de calidad a los fabricantes de piezas de plástico. Tales demandas de calidad pueden ser resistencia al impacto, resistencia a la deformación por calor, estabilidad dimensional, valores de aislamiento eléctrico, resistencia química, resistencia a la intemperie, retardancia a la flama, procesabilidad y especialmente precio.

Para cumplir estas exigencias, los fabricantes de resinas y los transformadores disponen de diferentes alternativas:

- Modificación Química.
- Modificación Física.
- Modificación con Aditivos.

### 9.4.1 MODIFICACIÓN QUÍMICA.

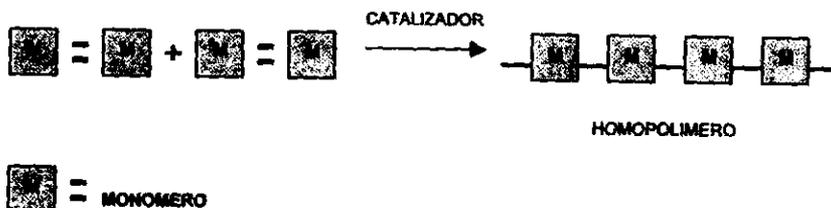
De manera general, las reacciones de síntesis utilizadas para producir los polímeros pueden ser dirigidas casi a voluntad, con esto se pueden controlar los parámetros más importantes de las macromoléculas, el grado de ramificación y la cristalinidad, los cuales inciden directamente en el comportamiento físico, químico y de procesamiento de los plásticos obtenidos por síntesis.

De acuerdo a la cantidad de monómeros presentes en el proceso de polimerización se distinguen dos tipos de polímeros.

- Homopolímeros.
- Copolímeros.

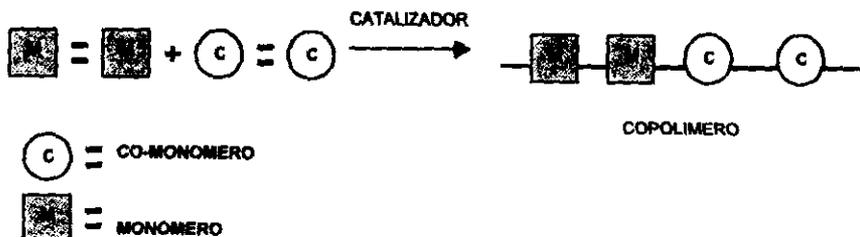
### 9.4.1.1 HOMOPOLÍMERO.

Es un polímero obtenido de un solo tipo de monómero. Las reacciones para su obtención se llevan a cabo, a través del uso de agentes químicos llamados iniciadores, por ejemplo; peróxidos orgánicos, bajo ciertas condiciones de calor y presión.

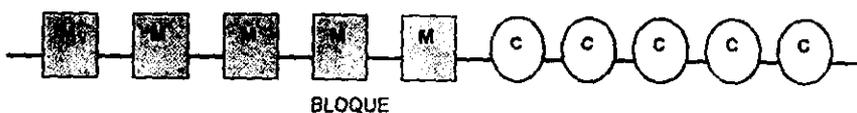


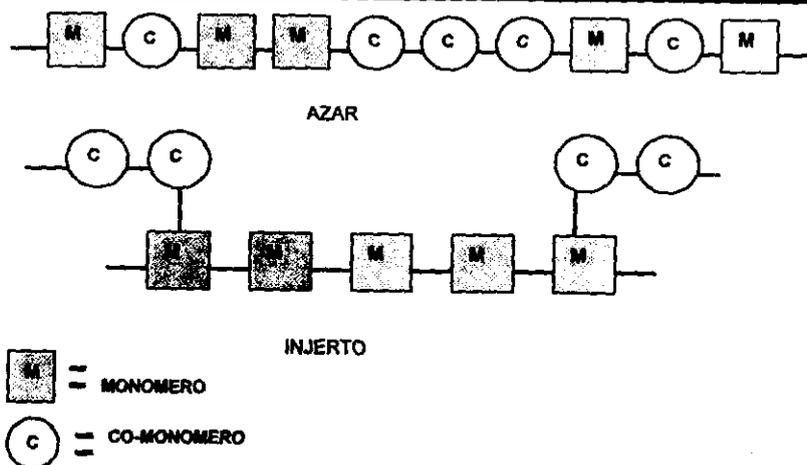
### 9.4.1.2 COPOLIMEROS.

Cuando en la polimerización participan dos o más monómeros de diferentes tipo se obtiene plásticos denominados copolímeros.



De acuerdo al arreglo que toman los diferentes monómeros en la cadena polimérica se tienen los siguientes tipos de copolímeros:





Los polímeros resultantes sufren cambios en sus propiedades en función del porcentaje de monómero utilizado y su arreglo, siendo posible modificar en menor o mayor grado muchas propiedades físicas, químicas y de proceso de transformación.

Otras modificaciones químicas se pueden lograr mediante reacciones químicas que alteran la estructura del polímero y por lo tanto sus propiedades. Ejemplo de estas modificaciones son las reticulaciones, la cloración, la fluoración y la sulfonación de superficies plásticas.

#### 9.4.2 MODIFICACION FÍSICA.

Una de las modificaciones físicas para los plásticos es la fabricación de mezclas entre distintos polímeros. La mezcla es conocida en el mercado como "Blend" o "Aleación" de polímeros. Es frecuente que la mezcla esté formada por componentes incompatibles, es decir en varias fases.

Para que una mezcla sea coherente y más o menos homogénea se agrega compatibilizadores. Puede suceder que las mezclas de polímeros tengan propiedades especiales que ninguno de sus componentes posea y generalmente se buscan resultados de sinergia.

Otros procesos de modificación física consisten en aumentar el ordenamiento de las moléculas. Esto se puede lograr mediante un proceso de "Orientación" y el "Estiraje".

Algunos productos de plástico como láminas, películas o productos huecos como botellas sopladas, se someten a un estiramiento durante el proceso de la fabricación, aplicándose fuerza cuyo efecto consiste en el alineamiento de las macromoléculas en estado termoelástico, perfectamente en la misma dirección del estiraje, con esta operación se aumenta la resistencia mecánica, la transparencia y la barrera a los gases.

### 9.4.3 MODIFICACIÓN CON ADITIVOS

El hecho de incorporar aditivos antes de la transformación de los plásticos, es una práctica necesaria. En realidad un plástico es un polímero en conjunto con pequeñas cantidades de otras sustancias como son catalizadores y emulsificantes. Posteriormente es necesario utilizar aditivos que tienen el objetivo de mejorar las propiedades y facilitar su transformación.

La función de los aditivos y la cantidad de éstos es muy grande, y en la actualidad juega un papel muy importante para que los productos terminados de plástico cumplan con las especificaciones que el mercado demanda.

### 9.5.0 PROPIEDADES.

La estructura interna de los plásticos determina sus propiedades fundamentales. Por ejemplo, los plásticos son malos conductores de calor y de la electricidad, es decir, son aislantes y esto se debe a que sus enlaces son por pares de electrones ya que no disponen de ningún electrón libre. Tienen densidades más bajas debido a que su estructura es "más suelta", y una serie de características que se analizarán a continuación:

#### 9.5.1 PROPIEDADES MECÁNICAS.

Al comparar la estructura de un metal y de un plástico, podemos observar que el metal presenta una estructura más compacta y que las fuerzas de unión son distintas a las existentes en los plásticos.

La diferencia es que los plásticos tienen una estructura molecular y los metales una estructura atómica. Por esta razón, los plásticos presentan una resistencia mecánica relativamente menor, un modulo de elasticidad menor, dependencia de las propiedades mecánicas con respecto al tiempo, dependencia de la temperatura principalmente los termoplásticos, gran sensibilidad al impacto aunque en este punto existen grandes diferencia desde los quebradizos como un Poliestireno hasta un resistente Policarbonato.

Los termofijos, debido a sus reticulaciones, carecen de deslizamiento interior y a eso deben ser básicamente más quebradizos que los termoplásticos. Por su parte algunos termoplásticos como el Polipropileno, el Nylon, el Polietileno y los Poliésteres lineales, pueden someterse a estirado, con lo cual las moléculas se orientan en la dirección del estirado. La fuerza de enlace de valencias se deja notar en este fenómeno, lo cual se manifiesta en una extraordinaria resistencia.

El comportamiento de deformación y recuperación interna de los plásticos le confiere una gran propiedad llamada memoria.

Por otra parte el comportamiento mecánico de los plásticos reforzados, varía en función de la cantidad, tipo de cargas y materiales que contiene.

### 9.5.2 PROPIEDADES TÉRMICAS.

Como otras propiedades, el comportamiento térmico de los plásticos también es función de su estructura; los plásticos termofijos son quebradizos a lo largo de todo el intervalo de temperaturas, no reblandecen y no funden: un poco por debajo de su temperatura de descomposición  $T_z$  se observa una pérdida de rigidez.

Los termoplásticos de vuelven quebradizos a bajas temperaturas que son específicas para cada uno de ellos. Si las temperaturas aumentan, se produce un descenso constante del modulo de elasticidad, es decir, disminuye la rigidez.

Al aplicar calor continuo a los termoplásticos amorfos, sufren un reblandecimiento, es decir, la transición a un estado termoelástico. En esta zona, con pequeñas fuerzas se provocan grandes deformaciones; si se sigue calentando se incrementa la movilidad térmica de las moléculas provocando que las cadenas puedan deslizarse unas frente a otras. Esta zona limita con la temperatura de descomposición.

Los termoplásticos semicristalinos poseen fragmentos amorfos (flexibles) en el intervalo de temperaturas de uso así como los cristalinos (rígidos).

Al aumentar la temperatura es posible moldearlos cuando los fragmentos cristalinos alcanzan el intervalo de temperatura de fusión. Inmediatamente sigue el estado termoplástico y al seguir aumentando la temperatura, este estado se caracteriza por la transparencia que adopta el plástico antes opaco. Esta zona limita la temperatura de descomposición del plástico

La temperatura de transición vítrea, es la temperatura debajo de la cual el polímero se comporta en forma similar al vidrio, siendo fuerte. Muy rígido, pero básicamente frágil, arriba de esta temperatura, el polímero no es tan fuerte ni tan rígido como el vidrio; sin embargo tampoco es tan frágil. Otras propiedades que también cambian en esta zona son el coeficiente de expansión térmica, la capacidad calorífica, índice de refracción, propiedades eléctricas, entre otras.

La naturaleza verdadera de la transición vítrea no es clara, y se han propuesto muchas teorías al respecto, actualmente en debate. Para determinar la temperatura de transición vítrea se usa una prueba que mide la energía necesaria para provocar un cambio brusco en la longitud de la muestra

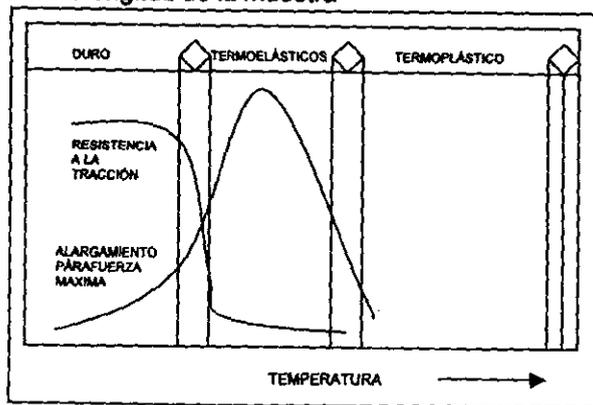


Figura 5.2.1 Estado de los Termoplásticos Amorfos

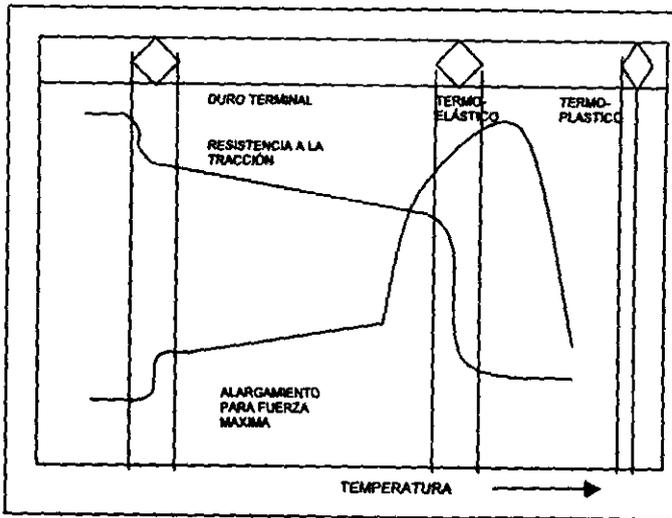


Figura 5.2.2 Estados de los Termoplásticos Cristalinos

Por su misma estructura, sufren una dilatación volumétrica relativamente grande con el aumento de temperatura. En los plásticos reforzados esta dilatación es menor, y está en función del tipo y cantidad de material de refuerzo.

Polímero	Tf(°C)	Tg (°C)	Td (°C)
Poliétileno (PEAD)	135	-123	360
Poliétileno (PEBD)	110	-60	335
Polipropileno (PP)	170	-10	330
Poliestireno (PES)	240	82	325
PVC	210	80	160
PTE	265	81	283
Policarbonato (PC)	267	147	330

Temperatura de fusión, Vítreas, y de Descomposición de algunos Polímeros.

### 9.5.3 PROPIEDADES ELÉCTRICAS.

Ya que los plásticos no disponen de electrones libres móviles, tienen un buen comportamiento como aislantes, es frecuente utilizarlos en la industria eléctrica y electrónica, por ejemplo, para carcasas, aislantes; enchufes, recubrimientos de cable y alambre, entre otros. Por todo esto, son importantes las siguientes propiedades eléctricas.

- Resistencia Superficial.
- Resistencia Transversal.
- Propiedades Dieléctricas.
- Resistencia Volumétrica.
- Resistencia al Arco.

#### **9.5.4 PROPIEDADES QUIMICAS.**

En términos generales, por ser los plásticos materiales inertes (no reactivos) frente a las sustancias líquidas, sólidas, y gaseosas comunes, muestran mejores propiedades químicas que los materiales tradicionales como papel, madera, cartón y metales, siendo superados únicamente por el vidrio. Sin embargo, los plásticos continúan mostrando crecimientos en aplicaciones que requieren contactos con diversos tipos de solventes y materiales corrosivos, aún en los que anteriormente se utilizaba el vidrio, donde lo más importante es seleccionar el tipo de plástico ideal, tomando en cuenta las condiciones de presión, temperatura, humedad, intemperismo y otras que pueden acelerar algún proceso de disolución o degradación.

#### **9.5.5 ABSORCION DE HUMEDAD.**

Esta propiedad es distinta para los diferentes tipos de plásticos, consiste en la absorción de humedad presente en el aire por la inmersión en agua, siendo dependiente del grado de polaridad de cada plástico, por ejemplo, los plásticos no polares como el PE; PP; PS;PTFE, absorben muy poco agua; en cambio los plásticos polares, como los Poliamidas o los Poliésteres termoplásticos, absorben gran cantidad de ella; en el caso de los dos últimos se requiere de secado antes de procesarlos y de un "acondicionamiento" en las piezas recién inyectadas para que alcance un grado de humedad determinado. En estos materiales el porcentaje de humedad afecta las propiedades finales de las piezas fabricadas.

#### **9.5.6 PERMEABILIDAD.**

La permeabilidad es una propiedad que tiene gran importancia en la utilización de los plásticos del sector envase, por ejemplo, en láminas, películas y botellas. La permeabilidad frente a gases y vapor de agua es un criterio esencial para la selección del tipo de material, según el producto a envasar: alimentos, bebidas carbonatadas, frutas frescas, embutidos y otros. Además del tipo de plástico, la permeabilidad también depende del grosor y de la temperatura.

#### **9.5.7 FRICCIÓN Y DESGASTE.**

El comportamiento de los plásticos ante la fricción es muy complejo, se caracteriza por la interacción de los materiales involucrados en el fenómeno, la estructura superficial, el lubricante, la carga específica y la velocidad de

desplazamiento. Una aplicación típica son los rodamientos, los más importantes están formados por el par plástico-acero.

Un fenómeno a considerar en este caso es el desprendimiento de calor a través del elemento metálico. Por esta razón sólo tiene sentido los datos de coeficientes de fricción referidos a pares de materiales específicos.

### 9.6.0 FORMAS DE PRESENTACIÓN.

Existe una gran variedad de procedimientos de transformación del plástico, cada uno es resultado de la adaptación a las necesidades concretas de cada material y de las piezas que se deseen obtener. Los polímeros termoplásticos se presentan en diversas formas:

- Polvos (1 – 100  $\mu\text{m}$ ).
- Pastas.
- Pallets (3 mm aproximadamente).
  - Cubos.
  - Lentejas.
  - Cilindros.
- Aglomerados.
- Granulados.

Ciertos procesos requieren formas específicas de la materia prima y en algunos casos, el manejo, almacenamiento y sistemas de alimentación y dosificación son las que determinan la elección.

Generalmente los polímeros utilizados como materia prima se envasan en sacos de 25 Kg. o en tambores de 100 Kg, a veces se encuentran presentaciones en cajas de cartón y contenedores de hasta 500 Kg. Son transportados a granel en carros tanque con cargas de 15 toneladas o en carros de ferrocarril desde 40 a 80 tons. El abastecimiento de materia prima a granel normalmente se almacena en silos de 7 m. de diámetro y 20 m. de altura y es transportada a los equipos de transformación mediante sistemas neumáticos.

Las resinas termofijas en forma de polvos se abastecen comúnmente en sacos, las pastas y resinas líquidas en tambores y carros tanque.

Los elastómeros se venden en forma de bloques para formular compuestos. Algunas son pastas y otros se presentan en forma de escamas.

# **CAPITULO X**

## MATERIALES COMPUESTOS

### 10.1 CLASIFICACIÓN Y GENERALIDADES

Los materiales compuestos es una cuarta clasificación de los materiales, pero estos son una mezcla de materiales metálicos, cerámicos y poliméricos. Un ejemplo importante de estos materiales es el compuesto de fibra de vidrio, el cual esta compuesto de un cerámico y una matriz de resina (plástico).

La unión de dos o más materiales generan propiedades no obtenibles mediante uno solo; ejemplo típico aunque burdos, son el concreto, la madera contrachapada (tripay) y la fibra de vidrio. Con los compuestos se fabrican materiales ligeros, resistentes, dúctiles, con resistencia a las altas temperaturas que no pueden obtenerse de otro modo, o bien se elaboran herramientas de corte muy resistentes al impacto que de otra manera serían quebradizas.

Se puede obtener una óptima combinación de propiedades al utilizar dos o más materiales sintéticos. El ejemplo más común es un guardafangos para automóviles hecho de fibra de vidrio (polimero reforzado con vidrio). Al utilizar únicamente el polimero se tendría una baja resistencia y una deflexión excesiva y se usara solamente el vidrio, este sería. Obviamente, muy frágil.

Las fibras de vidrio son sólo un tipo de compuesto sintético o material compuesto.

Los tipos generales de compuestos sintéticos, se pueden dividir en tres categorías:

1. Endurecidos por dispersión. Se dispersan pequeñas partículas en una matriz; la matriz es el principal constituyente de soporte de la carga.
2. Reforzados con partículas. Las partículas más grandes se incorporan en una matriz y la carga se comparte entre la matriz y las partículas.
3. Reforzados con fibra. Las fibras se incorporan en una matriz. La fibra es el principal componente de soporte de la carga.

#### 10.1.1 FIBRAS MINERALES ARTIFICIALES.

Son llamadas (FMA), la mayoría de las cuales se designan también con los nombres de fibras vítreas artificiales o de fibras minerales sintéticas vítreas. Hay diferentes tipos de FMA, como las lanas aislantes que incluyen la lana de vidrio, la lana de roca y la lana de escoria y las fibras refractarias, que comprenden las fibras cerámicas, la fibra de vidrio y las fibras para aplicaciones especiales.

Las FMA son silicatos amorfos, al contrario de los minerales fibrosos de origen natural, que son de estructura cristalina. La composición química de los diferentes tipos de fibra varían en la longitud y el diámetro de las propias fibras. Estas diferencias influyen de modo notable en la posibilidad de las fibras sean inhaladas y queden retenidas en los pulmones.

## **CAPITULO X.**

La mayoría de las lanas aislantes y de las lanas minerales contienen aglomerantes y agentes contra el polvo. Los aglomerantes consisten en resinas fenol-formaldehído y algunas veces de ure-formaldehído que se proyectan pulverizados en la masa fibrosa durante las primeras fases de la producción. En cambio, no se utilizan aglomerantes, ni agentes contra el polvo en las fibras refractarias.

Las FMA se fabrican con diámetros nominales que varían según el tipo de fibra y según su utilización.

Los procedimientos de fabricación son tres: el estirado, el soplado y el hilado (centrifugación) solo o combinado. Todos ellos parten de un baño de materias primas en fusión, cuya composición varía según la composición y las características deseadas del producto final.

La técnica del estirado permite controlar bien el diámetro de las fibras, con este procedimiento pueden obtenerse filamentos continuos de un diámetro muy preciso. El estirado consiste, en una primera fase, en expulsar la masa en fusión a través de una placa provista de orificios pequeños. Los filamentos se estiran mientras se hallan todavía en estado fluido; luego se peinan y se enrollan en una bobina para ser posteriormente transformados. El diámetro de los filamentos queda determinado por la viscosidad de la masa fundida, el tamaño de los orificios de la placa y la velocidad de enrollamiento de la bobina. Estos parámetros permiten controlar con exactitud el diámetro del filamento producido con una precisión de 10%.

El hilado consiste en verter un filete de materia en fusión sobre ruedas de hilado que giran rápidamente. Según las exigencias del producto final, se han ideado varias configuraciones.

Con el procedimiento de soplado puede resultar difícil controlar la gama de diámetros de las fibras, este procedimiento de fabricación consiste en dirigir un chorro de aire de vapor sobre un filete de mezcla en fusión, que penetra en el interior de una cámara receptora. El chorro divide el filete en fibras y partículas más o menos globulares.

La rotación y el soplado se combinan en los procesos en que el filete de mezcla se inyectan en el interior de un plato giratorio hueco, en cuya periferia se han practicado gran número de agujeros. En general, se utilizan corrientes de gases combustibles para fibrizar la mezcla a medida que la fuerza centrífuga la expulsa por los agujeros.

### **10.1.2 FIBRAS DE VIDRIO.**

El vidrio es una fibra textil incombustible; no puede arder. Las fibras de vidrio se han empleado en colchas para cama, manteles, en forros para abrigos. Cortinas, etc. La posibilidad de producir alguna irritación en la piel a causa de las pequeñas fibras que se rompen, ha limitado su uso en prendas de vestir.

Hay tres tipos principales de fibra de vidrio: de filamento continuo, lanas aislantes y fibras para aplicaciones especiales. Consisten esencialmente en óxidos

## **CAPITULO X.**

de silicio, de calcio, de sodio, de potasio, de aluminio y de boro. Las materias primas son dióxidos de silicio (silice), arena, piedra caliza, dolomita, óxidos de boro, espato flúor y fragmentos de vidrio. Durante la fabricación pueden modificarse los materiales que entran en la composición de las fibras a fin de conseguir las propiedades deseadas.

La materia prima se analiza y se mezcla de acuerdo con las fórmulas adaptadas, según los usos que tendrá la fibra.

Las fibras de vidrio se fabrican según dos procedimientos: filamento continuo y fibra cortada.

En el proceso para el filamento continuo después de reunidos los monofilamentos, éstos se estiran en el momento del bobinado, efectuado a alta velocidad. En el proceso para fibras cortadas se utilizan unos chorros de aire comprimidos que transforman, rápidamente la delgada corriente de vidrio fundido en finas fibras, de longitud comprendidas entre 20 y 38 centímetros, conduciéndolas hacia un rodillo giratorio, sobre el cual forman un delgado velo semejante a una telaraña.

### **10.1.3 FIBRAS DE VIDRIO EN FILAMENTO CONTINUO**

Se fabrican en diámetros que oscilan entre 6 y 20  $\mu\text{m}$ , no existen fibras de vidrio en filamento continuo respirables durante su fabricación. En las industrias que utilizan estos productos las concentraciones de polvo total pueden ser elevadas, y el polvo sumamente irritante, ya que contienen partículas de fibras no respirables y partículas no fibrosas. Uno de los materiales que contiene fibra de vidrio continuo es el plástico reforzado o yeso reforzado.

### **10.1.4 LANAS AISLANTES.**

Las concentraciones de polvo total que se encuentran en la fabricación de las lanas aislantes (lana de vidrio, de roca y de escoria) son raramente superiores a los límites en general aceptados. Las concentraciones de fibras respirables son más veces inferiores a 0.1 fibras/ml. Se utilizan resinas de formaldehídos como aglomerantes, por lo que las concentraciones de formaldehido pueden ser elevadas.

En la instalación de aislamientos las concentraciones medidas de fibras respirables en suspensión en el aire son normalmente bajas.

### **10.1.5 FIBRAS DE VIDRIO PARA APLICACIONES ESPECIALES.**

Se fabrican con diámetros nominales de 1  $\mu\text{m}$  o menos y sin aglomerantes, es preciso controlar estrictamente las operaciones para que las concentraciones de polvo total sean bajas. La concentración promedio de estas fibras en suspensión en el aire de las fábricas suele ser de 1 a 2 fibras/ml, mientras que las concentraciones son más elevadas (de 1 a 50 fibras/ml) en las instalaciones para producción de microfibras.

Los aislamientos para fines especiales, como los utilizados en la industria aeroespacial, dan lugar a bajas concentraciones de polvo total, pero también a elevadas concentraciones de fibras respirables en suspensión en el aire.

### **10.1.6 CONCRETO**

Es el material más importante en la construcción. Ofrece una flexibilidad excepcional en el diseño y en la forma, ya que el material se puede verter a temperatura ambiente y aun debajo del agua.

El concreto es una mezcla de una pasta (cemento Portland, agua y algunas veces aire atrapado) con un agregado. Aunque tiene un uso generalizado, también tiene algunas limitaciones que deben reconocerse para garantizar la máxima funcionalidad en su vida de servicio. Las limitaciones principales son la baja resistencia a la tracción, los movimientos térmicos, la contracción, la fluencia lenta o creep bajo carga, y la permeabilidad.

La mezcla de concreto esta compuesta por cemento, agua, aire, agregados y aditivos especiales.

### **10.1.7 ASFALTO**

Bitúmen es un término genérico definido por The American Society for Testing and Materials (ASTM), como un tipo de sustancias cementosas, amorfas de color oscuro, compuesto principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, de los cuales los asfaltos, breas, alquitranes son típicos. Los hidrocarburos de alto peso molecular llamados asfáltenos, que son esencialmente solubles en disulfuro de carbono y en hidrocarburos aromáticos y clorados. El asfalto es un bitumen o betún. Aunque se encuentra naturalmente, se obtienen en su mayoría como un subproducto de la refinación del petróleo. Los asfaltos naturales se clasifican en tres grupos, de acuerdo al contenido de bitúmen, los que contienen una cantidad apreciable de materia mineral y aquellos que contienen una pequeña fracción de bitúmen. Los asfaltos derivados del petróleo tienen menores cantidades de material inorgánico. Este tipo de asfaltos obtiene sus características a partir del origen del petróleo y del proceso de manufactura que se seleccione para su obtención.

Hay un tipo más de asfaltos sopladados y oxidados que contienen altos puntos de reablandamiento, menos susceptible a los cambios de temperatura y buena resistencia a los agentes atmosféricos.

Generalmente se manejan tres formas de asfaltos, los sólidos o semisólidos, en solución y en emulsión.

En la construcción de vías, se utiliza aproximadamente el 6% del asfalto para unir el agregado. Adicionalmente el asfalto es un material termoplástico. Se aplica en caliente y se utilizan unos rodillos pesados para hacerlo fluir y colocarlo sobre la superficie.

### 10.1.8 MADERA

La madera corresponde a un material compuesto totalmente natural. Es hermosa, tiene variedad, es compleja y es un material de construcción ampliamente utilizado.

La madera es un compuesto con estructura de panal de abejas, conformadas por diferentes células biológicas y que las paredes celulares están constituidas de arreglos complejos de fibras de celulosa. Estas fibras reforzadas con una matriz de polímeros tales como la lignina y otros compuestos orgánicos, además de cantidades variables de cristales inorgánicos, lo suficientemente duros en ciertos casos.

Una comprensión global de la estructura compleja y de las propiedades de la madera permitirá que el ingeniero la seleccione para el diseño en diversas circunstancias.

**Macroestructura.** En contraste con otros materiales, la macroestructura es la característica más importante de la madera. Muchas propiedades de una madera varían por un factor de 20. Dependiendo de la localización en el tronco y la dirección de la prueba.

**Microestructura.** Un examen de la microestructura da los detalles esenciales para la comprensión de ciertas características de la macroestructura y de las propiedades generales.

**Propiedades.** Usando como base las dos primeras secciones, se puede comprender y aprovechar en el diseño la gran direccionalidad en las propiedades de la madera.

Las maderas se dividen en clases de acuerdo con dos criterios. Primero están las maderas blandas que son las coníferas especialmente en los Estados Unidos, "siempre verdes", tales como el pino y el abeto con hojas en forma de aguja y con semillas exteriores. Las maderas duras pierden sus hojas, tienen flores verdaderas y tienen las semillas dentro de los frutos, como por ejemplo la nuez. La designación de las maderas en duras o blandas, es muy importante para las especificaciones de la madera. Las maderas duras son generalmente más resistentes y fuertes que las maderas blandas, pero no hay algunas excepciones.

En la macroestructura se orienta con respecto a las direcciones en el árbol, de tal manera que sea clara la correlación con la microestructura. L representa el eje longitudinal en el tronco, que corresponde al eje vertical del árbol, R es la dirección radial y T designa la dirección tangencial (normal a la dirección radial). La pérdida de humedad que resulta del secado depende de la dirección.

### 10.2 PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS.

Las propiedades mecánicas determinan cómo responden al material al aplicársele una fuerza o esfuerzo. El esfuerzo se define como la fuerza dividida entre el área transversal sobre la cual actúa. Las propiedades mecánicas más comunes son la resistencia mecánica, ductilidad y la rigidez del material, aunque a menudo interesa saber cómo se comporta el material cuando se expone a un choque repetido e intenso (impacto), a esfuerzos repetidos cíclicamente en un periodo dado (fatiga), o cuando se somete a acciones abrasivas (desgaste). Las

## CAPITULO X.

propiedades mecánicas no sólo determinan el comportamiento del material en operación. Si no que influyen en la facilidad con que puede ser conformado en un producto de servicio. A menudo un pequeño cambio en la estructura tiene un efecto radical en las propiedades mecánicas del material.

Dentro de las propiedades físicas se incluyen los comportamientos eléctrico, magnético, óptico, térmico y elástico. Las propiedades físicas dependen tanto de la estructura como del procesamiento de los materiales. Las propiedades químicas dependen, entre otras, las fuerzas de enlace (debido a la composición) y su comportamiento ante medios agresivos (corrosión). Aunque pequeños cambios en la composición causan un gran cambio en la conductividad eléctrica de muchos metales semiconductores y muchos cerámicos. Las altas temperatura de horneado pueden reducir notablemente las características de aislante térmico en un ladrillo de cerámica.

### 10.2.1 FIBRAS DE VIDRIO

Las composiciones típicas de los tres vidrios empleados para formar las fibras textiles comerciales se muestran en la tabla 10.1. El borosilicato cálcico - sódico bajo en álcali se emplea para telas eléctricas y artículos industriales y decorativos. El borosilicato sódico - cálcico se emplea en telas para filtros que requieren resistencia máxima al ataque de los ácidos; el silicato rico en plomo, por su opacidad a los rayos X, tiene ciertas aplicaciones en cirugía y de protección contra dichas radiaciones.

Tipo	Composición % en peso							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PbO
Borosilicato cálcico sódico bajo en álcali	54.5	14.5	22.0	---	8.5	0.5	---	---
Borosilicato sódico cálcico	65.0	4.0	14.0	3.0	5.5	8.0	0.5	---
Silicato rico en plomo	34.0	3.0	---	---	---	0.5	3.5	59.0

Tabla 10.1 Composición química de las fibras textiles de vidrio comerciales

Al enfriarse rápidamente las fibras, el vidrio está lejos de estabilizarse en su punto de deformación y su estructura interna es más abierta con mayor grado de desorden que en el vidrio recocido. E consecuencia de esta estructura modificada, los caracteres de viscosidad de la fibra, difieren mucho de los del vidrio recocido. En las fibras comerciales, la liberación de las tensiones (de lo que resulta el estado permanente) no es apreciable a temperaturas menores de 200°C.

## CAPITULO X.

Cuando se calienta a mayor temperatura que está, la estructura cambia hacia la estabilización y las propiedades físicas hacia los valores de vidrio macizo recocido. La tabla 10.2 muestra una comparación de las propiedades físicas del vidrio de borosilicato cálcico sódico bajo en álcali contra un vidrio macizo.

Propiedades	Vidrio macizo	Fibra
Densidad (30°)	2.59	2.54
Coef. De dilatación (25-200°) por °C	$60 \times 10^{-3}$	$50 \times 10^{-7}$
Calor específico (25-100°C), cal/(gramo)(°C)	0.20	0.10
Índice de refracción 550m $\mu$ a 32°C	1.552	1.548
Módulo de elasticidad de Young, Kg/cm <sup>2</sup>	$8.43 \times 10^3$	$7.03 \times 10^3$

Tabla 10.2 Comparación de las propiedades del vidrio de borosilicato cálcico - sódico bajo en álcali

Las propiedades eléctricas de los productos de vidrio fibroso dependen en cierto grado de la resistividad en superficies en volumen y de la pérdida dieléctrica.

En la forma fibrosa el vidrio sirve principalmente como soporte y esfuerzo para barniz, resina u otros materiales dieléctricos, los cuales llenan los intersticios entre los hilos de vidrio. Las propiedades eléctricas del vidrio fibroso son en gran parte determinantes por el particular barniz o resina empleada.

La durabilidad química de las fibras de vidrio adquiere importancia, sobre la del vidrio macizo por razón de área extraordinariamente grande que presentan las fibras de los diámetros empleados en las aplicaciones textiles.

Los textiles de vidrio fibrosos se hacen de fibra cortada o de filamento continuo en hilaza de 100 o, más frecuente 400 filamentos en paralelo, mantenidos ligeramente unidos durante las operaciones siguientes con un compuesto basado en almidón.

La hilaza de filamento continuo presenta una superficie lisa, de lustre relativamente grande; la hilaza de fibra cortada tiene textura vellosa. Ambos tipos están hechos en diámetros de fibra que van desde  $23 \times 10^{-5}$  hasta aproximadamente  $48 \times 10^{-5}$  pulgadas (0.0058 - 0.00122 mm).

Las fibras individuales tienen superficies más lisa y son aproximadamente cilíndricas, de modo que su sección transversal es casi un círculo perfecto.

Las fibras de vidrio pueden ser identificadas fácilmente en el tejido por combustión o por disolución de los componentes orgánicos de la tela. Las fibras de vidrio son incombustibles y se fundirán pero no arderán. Por lo general pueden tolerar hasta unos 1000°F (530°C) en servicio.

Las propiedades de estas fibras de vidrio se pueden resumir en el siguiente cuadro:

Tenacidad	6.3 - 6.9 gr./den.
En humedad	5.4 - 5.8 gr./den.
Alargamiento	3.0 - 4.0 %
En humedad	2.5 - 3.5 %
Recuperación elástica	100%
Resistencia a la tracción	204000 - 220000 lb/pulg <sup>2</sup>
Densidad	2.54
Agua absorbida	Más del 0.3% (superficial)
Efecto del calor	No arde, la resistencia empieza a disminuir a 315°C. Reblandece a los 815°C
Efecto de la luz del sol	Ninguno
Efectos a los ácidos	Sólo atacado por el ácido fluorhídrico (FH) y el fosfórico en caliente.
Efecto de los álcalis	Atacado por soluciones en caliente de álcalis débiles y soluciones frías de álcalis fuertes.
Efectos de disolventes orgánicos	Insolubles
Colorantes usados	Pigmentos depositados como resina y colorantes especiales.

### Propiedades mecánicas de las fibras de vidrio

Es de principal interés la alta resistencia de las fibras de vidrio. La resistencia a la rotura de fibras recién estiradas ha llegado a 63200 Kg/cm<sup>2</sup> y las fibras finas de vidrio de sílice, ensayadas en él vacío, han dado valores cercanos a 140000 Kg/cm<sup>2</sup>.

Las fibras simples separadas de los cordones del tipo de filamento continuo presentan resistencia a la tracción de 17500 a 21000 Kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a la rotura de varilla de vidrio con superficies especiales lisas es del orden de los valores medios en las fibras finas, lo que induce a creer que la alta resistencia de estas fibras resultan en gran parte de su superficie está libre de fallas de magnitud perceptibles.

La gran resistencia de las fibras vírgenes sufren alguna mengua a causa de que el vidrio es sensible a los arañazos, y es inevitable que en los diversos procedimientos de fabricación se produzca algún daño que disminuye la resistencia teórica. Los caracteres de fatiga de las fibras de vidrio, son menos notables que en el vidrio macizo y en aplicación textil de las fibras son modificados al formarse la hilaza y por los lubricantes y materiales de apresto.

La hilaza de filamento continuo presenta resistencia a la tracción, cuando se mide por el método ordinario (ASTM D578-52), normalmente en exceso de 6.5 gramos/dinier, o aproximadamente 14700 Kg/cm<sup>2</sup>, basada en el área de la sección transversal de las fibras. Hasta el punto en que pueden determinarse, no hay

## CAPITULO X.

reducción de la sección transversal en la rotura. Sin embargo, la resistencia depende en cierto grado de la construcción de la hilaza y de la cantidad de torsión, y cuando se teje la hilaza el esfuerzo de la urdimbre es algo menos que para la hilaza aislada. Los ensayos de hilaza o de tela de vidrio deben hacerse en condiciones aproximadas a las de servicio.

Las fibras de vidrio son perfectamente elásticas; la relación de esfuerzo deformación se expresa por una recta hasta la resistencia última de la fibra. El módulo de Young para las fibras simples es de unos 700000 Kg/cm<sup>2</sup>. El alargamiento es aproximadamente 3% en las fibras individuales en la rotura. La hilaza de poca torsión presenta un alargamiento en el punto de rotura de 1.7 a 2.7%; la hilaza de alta torsión, 2.2 a 3.3%. Estos dos caracteres, la elasticidad y un alargamiento limitado, pero definido, son muy importantes cuando se emplea el vidrio como refuerzos para plásticos pues resulta una resistencia al impacto excepcionalmente grande. Sin embargo, estas propiedades se oponen a la aplicación de tejido cuando se requiere un material que posea resiliencia o que sea estirable, a menos que estas cualidades se deriven de la construcción de la hilaza y del tipo de tejido. Otras propiedades importantes son la baja absorción de la humedad y la gran resistencia a las altas temperaturas. Pruebas precisas de fibras limpias muestran que hay un aumento menor de 0.4% en peso por la humedad absorbida cuando se exponen fibras totalmente secas a un ambiente con 90 - 95% de humedad relativa.

La gran resistencia a la tracción es conservada por los textiles de vidrio a altas temperaturas. La resistencia a la tracción de las cintas de fibras de vidrio aumenta algo hasta un máximo a 350°F (177°C), disminuyendo hasta la resistencia original a 500°F (260°C) y de ahí en adelante se pierde resistencia. Este efecto es debido al enlace transversal por el almidón del apresto que al caramelizarse por el calor adquiere características de resistencia.

Los textiles de vidrio no se emplean en indumentaria, excepto como entretelas para aislamiento térmico en ropas para regiones extremadamente frías. Su poco alargamiento, su baja adsorción de humedad y la gran resistencia a la tracción se opone a los usos indumentarias corrientes, pues este material es difícil de trabajar y no se adapta a las variables formas del cuerpo.

El vidrio tiene una resistencia excelente a los ácidos, excepto al fluorhídrico. Esta sujeto también a ataques por las soluciones alcalinas calientes. El vidrio es particularmente adecuado para tuberías, cuando se desee que sean transparentes.

Las telas de fibra de vidrio son ampliamente usadas como aislamientos eléctricos. Además en tuberías industriales que necesitan un recubrimiento incombustible, en impermeabilización, como medio filtrante en procesos químicos de alta temperatura, para el esfuerzo de plásticos empleados en carrocería de automóviles, etc.

### 10.2.2 CONCRETO

La resistencia del concreto es normalmente mayor a bajas relaciones de agua cemento; sin embargo, debemos llegar a un compromiso razonable para obtener una trabajabilidad satisfactoria.

El concreto tiene una mayor resistencia a la compresión comparada con la resistencia a la tracción. Se puede aumentar la resistencia a las cargas de tensión por medio del esfuerzo del concreto con acero. A continuación se describen las propiedades más importantes del concreto:

**Resistencia a la compresión.** La reacción de hidratación de la pasta de cemento Portland (mezclas de silicatos y aluminatos que se endurecen por una reacción de hidratación) depende del tiempo. La resistencia a la compresión aumenta significativamente con la baja relación agua - cemento. Para los ensayos de compresión generalmente tienen un diámetro de 6 pulg X 12 pulg de altura. La retención de aire hace que el concreto sea más durable, especialmente bajo condiciones de congelamiento y descongelamiento, porque los vacíos son discontinuos. El arrastre de aire permite una buena trabajabilidad para reacciones bajas de agua - cemento.

**Trabajabilidad.** Este ensayo de asentamiento se lleva a cabo utilizando un cono truncado de 8 pulg de diámetro inferior, 4 pulg de diámetro superior y 12 pulg de altura. El ensayo de asentamiento se utiliza como un índice de trabajabilidad del concreto en el campo. En la práctica se llena un molde de lámina de acero con incrementos de una tercera parte cada vez y después de cada incremento se empuja con una barilla hacia arriba y hacia abajo 25 veces. Luego se retira el molde y se mide el asentamiento.

Los intervalos típicos de asentamiento están entre 1 y 2 pulg para el pavimento y para construcción pesada y entre 3 y 5 pulg para columnas, vigas y paredes.

La trabajabilidad no debe ser tan grande como para que produzca la segregación o el sangrado del concreto. El sangrado es el movimiento del agua hacia la superficie. Esto conduce a unas mayores relaciones agua - cemento y a una menor resistencia en la superficie y menor durabilidad.

**Humedad.** La reducción o remoción de la humedad superficial disminuirá o frenará totalmente la reacción de hidratación. La interrupción del curado húmedo después de un intervalo determinado de exposición al aire seco frena completamente el curado. Si se establece el curado con aire húmedo, la resistencia aumentará nuevamente.

**Temperatura.** La reacción de hidratación en el cemento libera calor y la rata de hidratación es más alta a mayores temperaturas. Para obtener una resistencia óptima varía dependiendo de la temperatura ambiente.

La temperatura es importante en el control de la contracción. Cuando la contracción es severa, puede producirse el agrietamiento del concreto antes de que haya alcanzado su resistencia óptima.

Contracción. Se puede presentar en dos etapas. Primera etapa, ocurre mientras el concreto aún está en el estado plástico. Esta etapa es dependiente del agua, del tiempo y de la temperatura. Hay pérdidas de agua por evaporación y por hidratación. El aumento en la temperatura enmascara la contracción a causa de la expansión térmica.

La segunda etapa de contracción ocurre después del endurecimiento inicial de la pasta. Se debe a una hidratación adicional y a un enfriamiento de la masa. En algunos casos la masa de concreto no endurece uniformemente debido a la falta de uniformidad en la humedad del medio.

Fluencia lenta o "creep". La rata de fluencia lenta es más baja para las siguientes condiciones:

1. Para concretos de alta resistencia
2. Con un volumen total más bajo de la pasta de cemento.
3. Con un arreglo más grande.

Resistencia a la abrasión y durabilidad. La abrasión se vuelve muy importante en las carreteras, en los pisos de concreto y en los vertederos de las represas. Un concreto más fuerte tiene una mejor resistencia al desgaste.

### 10.2.3 ASFALTO

Se puede describir al bitúmen como una sustancia viscoelástica, que se comporta como líquido viscoso a temperatura ambiente y grandes temperatura, como sólido elástico a bajas temperaturas.

Esta cualidad del bitúmen se denomina como carácter o comportamiento reológico y puede ser medido en unidades relativas de flujo y deformación. Algunas pruebas que se relacionan con esta propiedad son: la penetración, viscosidad, punto de reablandamiento, ductilidad, flexibilidad a bajas temperaturas, etc.

La naturaleza viscoelástica del bitúmen dicta el control entre temperaturas y viscosidad durante todas las etapas de procesamiento, mientras que en servicio las propiedades de flujo, susceptibilidad a la temperatura, flexibilidad y ductilidad contribuyen en la durabilidad del producto.

Las propiedades reológicas del asfalto están determinadas por el origen y composición de éste.

La fracción de saturados es menos susceptible a los cambios de temperatura que las fracciones de naftenos aromáticos y aromáticos polares que son más susceptibles a los cambios de temperatura y tienen una viscosidad mucho mayor a una temperatura dada.

Una vez más esto nos lleva a la clasificación de los saturados y naftenos aromáticos como líquidos y las fracciones de aromáticos polares y asfáltenos como sólidos. De este modo la reología de los bitúmenes puede ser atribuida al efecto de la composición y sus propiedades viscoelásticas de las fracciones que los componen.

**Resistencia a los agentes ambientales.**

Bajo condiciones ambientales el bitumen se oxida lentamente, específicamente la superficie expuesta. Los efectos son un incremento en la viscosidad y en el punto de reablandamiento. En climas muy cálidos, las carreteras de asfalto presentan flujo viscoso o fluencia lenta. Para controlar estos efectos en la superficie, se usa un agregado como acabado o se usan películas apreciablemente gruesas.

A temperaturas muy bajas se vuelven frágiles (por debajo de la temperatura de transición vidriosa) y un esfuerzo no uniforme, puede producir fractura ocasionando los ya conocidos huecos en el asfalto. Los efectos del ambiente en películas de asfalto, son más rápidos cuando estas películas son más delgadas.

Por otro lado, cuando un bitumen está en contacto permanente con agua, la absorción de agua es del orden de 0.001 – 0.01% en peso, es decir, posee buena resistencia al agua, aunque no es completamente impermeable.

**Resistencia a los agentes químicos.**

Regularmente el bitumen tiene buena resistencia a los químicos suaves, pero reaccionan con químicos más agresivos, como los ácidos sulfúrico, nítrico y clorhídrico. Los ácidos diluidos algunas veces provocan un pequeño endurecimiento del betumen.

El cloruro férrico y el pentóxido de fósforo han sido usados comercialmente, entre otros, como catalizadores para la oxidación de asfalto soplado, para reducir el tiempo de operación. Sin embargo no son propiamente catalizadores, debido a que ellos son consumidos en el proceso y son convertidos químicamente.

El asfalto contiene pequeñas cantidades de ácidos orgánicos y materiales saponificables. El asfalto usualmente no es corrosivo con los metales. El contenido de ácido es fuertemente determinado por el porcentaje de ácidos nafténicos (cicloparafínicos) de gran peso molecular que están presentes originalmente en el asfalto.

Con el incremento de dureza del asfalto de un petróleo dado normalmente decrece de acidez a medida que más ácidos nafténicos son removidos por la destilación.

La clasificación apropiada del agregado en las vías de asfalto es tan importante como el concreto. Se han hecho varios ensayos en los que se utilizan rellenos para mejorar las propiedades del asfalto. La adición de vidrio molido, especialmente en las intersecciones, aumenta la fricción y produce una mejor reflectividad nocturna. La adición de partículas de caucho produce una mejor resiliencia, especialmente a bajas temperaturas.

#### 10.2.4 MADERA

La madera se debe ensayar con un contenido de humedad estabilizado y se debe determinar la gravedad específica. La gravedad específica se define como la densidad de la madera dividida por la densidad del agua (una constante conocida). La densidad de la madera variará de acuerdo con el contenido de humedad debido a que el agua incrementa el volumen y la masa de la madera.

La densidad de la madera se define de una manera especial como la masa libre de humedad (0% agua) dividida por el volumen para un contenido de humedad específica. Se debe esperar que el volumen de una pieza de madera secada en el horno sea menor que el volumen de una pieza verde, a causa de la contracción debida al secado. Entonces la densidad de la madera secada en el horno será mayor, como será también su gravedad específica.

Propiedades ortotrópicas. Existen propiedades diferentes a lo largo de los tres ejes: L, longitudinal, R, radial y T, tangencial. Esta anisotropía recibe un nombre especial en el lenguaje de los tecnólogos de la madera que corresponde a ortotropía, para indicar que existe una anisotropía a lo largo de tres ejes ortogonales (eje mutuamente perpendiculares).

La tabla 10.3 presenta los datos de las propiedades mecánicas características de algunas maderas blandas y duras.

Tabla 10.3 PROPIEDADES MECANICAS CARACTERISTICAS DE LAS MADERAS DE LOS ESTADOS UNIDOS

Flexión estática			
Especie	Gravedad específica	Módulo de ruptura lb/pulg <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad 10 <sup>6</sup> lb/pulg <sup>2</sup>
Maderas blandas			
Pino blanco del oeste	0.34 Gr	4900	0.99
	0.35 KD	8600	1.24
Pino douglas (costero)	0.45 Gr	7700	1.56
	0.48 KD	12400	1.95
Cedro rojo del oeste	0.31 Gr	5200	0.94
	0.32 KD	7500	1.11
Pino de California	0.34 Gr	5900	0.96
	0.35 KD	7900	1.10
Maderas duras			
Fresno blanco	0.55 Gr	9600	1.44
	0.60 KD	15400	1.74
Abedul amarillo	0.55 Gr	8300	1.50
	0.62 KD	15600	2.01
Cerezo negro	0.47 Gr	8000	1.31
	0.50 KD	12300	1.49
Nogal americano (pacama)	0.60 Gr	9800	1.37
	0.66 KD	13700	1.73
Arce (hoja grande)	0.44 Gr	7400	1.10
	0.48 KD	10700	1.45
Roble blanco	0.66 Gr	8300	1.25
	0.68 KD	15200	1.78

Gr estado verde

KD secada en horno hasta un 12% de humedad

La primera línea de cada grupo se refiere a la condición en verde y la segunda se refiere a la madera con un 12% de agua. Todas las muestras son granos claros y seleccionados. Las pruebas mecánicas se hacen en las tres dimensiones ortogonales. Debido a las limitaciones prácticas y a la fluctuación en cualquiera de las propiedades, las mediciones se hacen a través del grano, es decir, normal a la dirección longitudinal y también paralelas al grano.

La prueba más común que se le hace a la madera es el ensayo de flexión debido a que este es el uso estructural más común de la madera aserrada y también debido a la naturaleza no homogénea de la madera. El módulo de ruptura no es realmente un módulo sino que refleja la capacidad máxima para soportar carga en una viga.

Las maderas duras típicas son realmente más fuertes y más duras que las maderas blandas.

Efectos de la humedad. El punto de saturación de fibra (FSP) se define como el nivel de humedad por encima del cual las propiedades cambian muy poco. La madera verde tiene niveles de humedad que exceden el FSP. Cuando el contenido de humedad es inferior al FSP, como sucede al sacarla en un horno, hay absorción o pérdida de humedad que depende de la humedad relativa.

La contracción o el esponjamiento se deben a que el cambio de humedad es máximo en la dirección tangencial, 50-55% en la dirección radial y 1.5-5% en la dirección longitudinal.

# **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo no se abordaron temas como propiedades eléctricas. Ópticas, análisis de fallas, etc. dado que los materiales que se emplean en la Ingeniería Química abordan un sin número de propiedades que para su estudio completo no se podría realizar en un trabajo de esta naturaleza.

Por lo que también la diversidad del desarrollo actual de los materiales es muy amplia y recomendamos que se tome como base a la propuesta desarrollada en esta tesis que son los fundamentos de todos los materiales y si es necesario ampliar el conocimiento sobre algún tema en específico o bien para conocer, comprender y seleccionar a otros tipos de materiales se consulten bibliografías recomendadas o aquellas que aborden el tema con una mayor amplitud.

Aun es de resaltar que la experiencia que se adquiere en el campo y el desarrollo profesional es la herramienta que en un determinado caso será la que nos indique el camino a seguir para problemas en específico.

El ingeniero químico, dentro de su desarrollo profesional, debe de conocer o mínimo tener una idea, de los materiales que le pueden ser de utilidad para satisfacer de manera favorable sus proyectos. Como es sabido, la carrera de Ingeniería Química, así como la industria en general, requieren de un amplio respaldo en la selección de los materiales adecuados para optimizar los proyectos emprendidos.

Este trabajo fue desarrollado con el interés de que ese respaldo tan necesario para estudiantes y profesionales, encontrara una base para comenzar con la difícil tarea de una adecuada selección de los materiales, dada la amplia variedad de estos.

Al igual, se pudo tener una visión general de la conveniencia de conocer algunas de las propiedades físicas, químicas y mecánicas más importantes de algunos de los materiales, así como algunas pruebas que nos ayudan a tener un panorama amplio del comportamiento de ellos en ciertas condiciones ambientales o de operación.

Teniendo en mente que información más detallada se encuentra en algunas secciones de estándares como el ASTM, API, ASME entre otros donde se discuten en detalle la selección de materiales apropiados para el diseño de partes, diseño de herramientas y procesos industriales etc. y en algunas otras fuentes bibliográficas específicas sobre un material en particular.

La industria ofrece actualmente una amplia variedad de opciones para un problema determinado, y por tal motivo, en muchas ocasiones se encuentra más de una solución efectiva para un caso particular; no sería extraño que una

## CONCLUSIONES.

solución que ha funcionado con éxito en alguna ocasión, situación o equipo, resultara un fracaso total en otro.

Al tratar de delimitar los materiales que se emplean, no se encuentra una respuesta bien definida, de esta manera la selección de los materiales no es tarea fácil y requiere de la consideración de toda una serie de factores, donde algunos se determinan basándose en experiencia personal.

Un factor que influye demasiado sobre la selección de los materiales en las plantas de proceso es la corrosión, sin embargo, la resistencia a la corrosión no es la única propiedad a ser considerada, al seleccionar un material. La selección final será un compromiso entre la competencia técnica y los factores económicos.

En una aplicación de reparación, hay generalmente menor oportunidad para el re- diseño, y el principal factor de decisión general es la disponibilidad de tiempo y la facilidad de disposición.

## **BIBLIOGRAFIA**

**BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Agranoff J. (Ed.) "Modern Plastics Encyclopedia", Vol, 61, McGraw - Hill. New York 1984
- 2.- Avner Sydney H. "Introducción a la Metalurgia". Mc Graw-Hill, 1988, México.
- 3.- Cruz, Chamizo, Garritz. "Estructura Atómica, un Enfoque Químico". Facultad de Química UNAM. Fondo educativo Interamericano.
- 4.- Driver W. E. "Química y Tecnología de los Plásticos", CECSA, México 1991.
- 5.- Flin A. Richard Et. Al. "Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones". Mc. Graw Hill. 1979.
- 6.- Henthorne M. "Stress Corrosion" Septiembre 20, 1971, Chem. Eng.
- 7.- Horger Oscar J. A.S.M.E. Handbook. "Metals Engineering Design. (2ª Edición). New York, New York USA. ED. McGraw-Hill 1975.
- 8.- IMP "Metalurgia Aplicada". Publicación No. 70 Hf/270'-C 1979
- 9.- Kenneth J. Mc Naughton and the Staff of Chemical Engineering. Materials Engineering I Selecting Materials for Process Equipment. New York, N. Y. USA. MacGraw-Hill Publications Co.
- 10.- Keyser, Carl, A." Ciencia de los Materiales para Ingeniería" 1ª reimpresión, Ed. Limusa, 1975
- 11.- Kühne G. "El plástico en la Industria, Tratado Práctico, Envases y Empaques". Ed. G. Gili S.A de C. V.1991.
- 12.- Lawrence, H., Van "Materiales para Ingeniería", 2ª reimpresión, Ed. Continental, 1985.
- 13.- Levine Ira N. "Fisicoquímica". McGraw - Hill
- 14.- May Thomas P. "Corrosion and Protection Against Corrosion". The International Nickel Company, Inc. New York. USA 1980.

**BIBLIOGRAFIA.**

- 15.- Morton-Jones D. H., J. W. Ellis. "Polymer Products, Desing, Materials and Processing". Chapman and Hall Ltd. New York, 1989.
- 16.- Muñoz Canales Raxiel. "El Plomo y sus Aleaciones en Ingenierla Química". Tesis de Ingeniero Químico. 1989 FES-C.
- 17.- Obery Erick y F. D. Jones. " Manual Universal de la Técnica Mecánica". (vol. 1 y 2). Ed Labor. México D. F. 1978
- 18.- Rosato D. V. "Inyection Molding Handbook". Van Nostrand Reinhold. New York 1986
- 19.- Rudin A., "The Elements of Polymer Science and Engineering". Academic Press, New York, 1982.
- 20.- Rumford Frank "Materiales de Ingeniería Química". Ed. EUDEBA. Buenos Aires 1960
- 21.- Schulz, Donald in Kirk-Otomer "Enciclopedia de Tecnología Química. Uteaha, 1987 México
- 22.- Singer Ferdinand L. "Resistencia de Materiales". Harper and Row Latinoamericana. México D. F. 1971.
- 23.-Hollen Norma. "Introducción a los Textiles". Ed Limusa. México 1987.
- 24.-Perry r. H., Chilton h. C. "Manual del Ingeniero Químico" Mc Graw-Hill
- 25.-Sitting, M. "Electroplating and Relate Metal Finishing Pollutant and Toxic Materials Control". Noyes Data Corp., Park Ridge, N. J.
- 26.-Stevens M. P., "Polymer Chemistry, and Introduction", Oxford University Press, 2ª Edición, New York 1991.