



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

CURSO CIENCIA DE LOS MATERIALES, VERSIÓN VIRTUAL

Saúl Rigoberto López Pineda

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, noviembre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CURSO CIENCIA DE LOS MATERIALES,
VERSIÓN VIRTUAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SAÚL RIGOBERTO LÓPEZ PINEDA

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II | Lic. Amahán Sánchez Álvarez |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| VOCAL V | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL
PRIVADO**

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| EXAMINADOR | Ing. Roberto Guzmán Ortiz |
| EXAMINADOR | Ing. José Ismael Véliz Padilla |
| EXAMINADOR | Ing. José Arturo Estrada Martínez |
| SECRETARIO | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CURSO CIENCIA DE LOS MATERIALES, VERSIÓN VIRTUAL

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica en abril 2006.



Saúl Rigoberto López Pineda

Guatemala, 19 de octubre de 2006

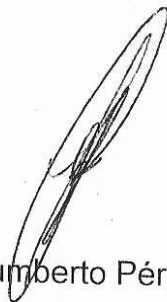
Ingeniero
Fredy Mauricio Monroy Peralta
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección de Escuela, he asesorado y revisado el trabajo de graduación titulado "**CURSO CIENCIA DE LOS MATERIALES, VERSIÓN VIRTUAL**", presentado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica, Saúl Rigoberto López Pineda, con carné No. 9811732, quien ha cumplido con los requisitos reglamentarios, consultando la bibliografía y seguido las recomendaciones de la asesoría.

El autor de este trabajo y el suscrito asesor, nos responsabilizamos por el contenido y conclusiones que en él se exponen.

Atentamente,



CARLOS H. PEREZ
ING. MECANICO INDUSTRIAL

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Colegiado No. 3071
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

"Todo por ti Carolingia mía"
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su nacimiento

El Coordinador del Área de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado CURSO CIENCIA DE LOS MATERIALES, VERSIÓN VIRTUAL, del estudiante Saúl Rigoberto López Pineda, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

CARLOS H. PEREZ
ING. MECANICO INDUSTRIAL

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, octubre de 2006.

/behdei



"Todo por ti Carolingia mía"
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su nacimiento

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área de Materiales, al trabajo de graduación, CURSO CIENCIA DE LOS MATERIALES, VERSIÓN VIRTUAL del estudiante Saúl Rigoberto López Pineda, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
DIRECTOR



Guatemala, noviembre de 2006.

/behdei



Ref. DTG.475.06

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **CURSO CIENCIA DE LOS MATERIALES, VERSIÓN VIRTUAL**, presentado por el estudiante universitario **Saúl Rigoberto López Pineda**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2006

/cc

AGRADECIMIENTO A:

- DIOS** Por haberme dado sabiduría y la capacidad necesaria para alcanzar esta meta.
- MIS PADRES** **Rigoberto López Alvarado y Dora Alicia Pineda** como un justo agradecimiento por su apoyo.
- MIS HERMANAS** **Dora Pineda y Karina López Pineda**
- MIS COMPAÑEROS** En especial a: **Leonel Pérez y Ervin Andrino.**
- LA UNIVERSIDAD** Por todos los conocimientos profesionales recibidos
DE SAN CARLOS

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| GLOSARIO | VII |
| RESUMEN | IX |
| OBJETIVOS | XI |
| INTRODUCCIÒN | XIII |
| | |
| 1. PROGRAMA DEL CURSO | 01 |
| | |
| 2. INTRODUCCIÒN A LOS MATERIALES DE INGENIERÍA | 03 |
| 2.1 Metales | 04 |
| 2.2 Cerámicos | 05 |
| 2.3 Polímeros | 05 |
| 2.4 Materiales Compuestos | 06 |
| 2.5 Semi-conductores | 06 |
| 2.6 Con memoria | 07 |
| | |
| 3. REPASO DE LA TEORÍA ATÓMICA Y LA ESTRUCTURA MOLECULAR | 09 |
| 3.1 Estructura del átomo | 09 |
| 3.2 Enlaces atómicos | 09 |
| 3.2.1 Enlace iónico | 10 |
| 3.2.2 Enlace covalente | 10 |
| 3.2.3 Enlace metálico | 10 |
| 3.2.4 Fuerzas de Van der Waals | 11 |
| | |
| 4. ELEMENTOS DE LAS ESTRUCTURAS CRISTALINAS | 13 |
| 4.1 Sistemas cristalinos | 13 |
| 4.2 Celda unitaria | 14 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.2.1 | Cúbica centrada en el cuerpo | 14 |
| 4.2.2 | Cúbica centrada en las caras | 15 |
| 4.2.3 | Hexagonal Compacta | 17 |
| 4.3 | Poliformismo y alotropía | 17 |
| 4.4 | Planos Cristalográficos | 17 |
| 4.4.1 | Índices de Miller | 18 |
| 4.5 | Mecanismo de cristalización | 19 |
| 4.6 | Sitios intersticiales | 20 |
| 5. | IMPERFECCIONES EN LOS MATERIALES CRISTALINOS | 21 |
| 5.1 | Defectos puntuales | 21 |
| 5.2 | Defectos lineales | 22 |
| 5.3 | Defectos de superficie | 23 |
| 6. | MOVIMIENTO DE LOS ÁTOMOS EN LOS MATERIALES | 25 |
| 6.1 | Estabilidad de los átomos | 25 |
| 6.2 | Mecanismos de difusión | 25 |
| 6.3 | Primera ley de Fick (velocidad de difusión) | 26 |
| 6.4 | Segunda ley de Fick (Perfil de composición) | 27 |
| 6.5 | Tipos de difusión | 28 |
| 7. | ESAYOS DE MATERIALES | 29 |
| 7.1 | Ensayos destructivos | 29 |
| 7.2 | Ensayos no destructivos | 33 |
| 7.2.1 | Ensayos no destructivos superficiales | 33 |
| 7.2.2 | Ensayos no destructivos subsuperficiales | 35 |
| 8. | DEFORMACIÓN, ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN Y RECOCIDO | 37 |
| 8.1 | Relación del trabajo en frío con la curva esfuerzo deformación. | 37 |
| 8.2 | Mecanismos de endurecimiento por deformación | 38 |
| 8.3 | Procesos de deformación | 39 |

| | | |
|--------|---|----|
| 8.4 | Recocido Total y sus tres etapas | 40 |
| 8.4.1 | Recuperación | 41 |
| 8.4.2 | Recristalización | 41 |
| 8.4.3 | Crecimiento de grano | 41 |
| 8.5 | Trabajo en caliente | 42 |
| 9. | SOLIDIFICACIÓN Y ALEACIÓN | 43 |
| 9.1 | Fase cristalina | 43 |
| 9.2 | Constitución de las aleaciones | 44 |
| 9.3 | Reglas de Hume Rothery | 45 |
| 9.4 | Solubilidad total | 46 |
| 9.5 | Diagrama de equilibrio o de fases isomorfo | 47 |
| 10. | MATERIALES CERÁMICOS | 49 |
| 10.1 | Estructura de los materiales cerámicos cristalinos | 49 |
| 10.2 | Imperfecciones en las estructuras cerámicas cristalinas | 50 |
| 10.3 | Materiales cerámicos no cristalinos y sus aplicaciones | 50 |
| 10.4 | Refractarios | 51 |
| 10.5 | Otros materiales cerámicos | 52 |
| 11. | POLÍMEROS | 53 |
| 11.1 | Definiciones poliméricas: monómero, mero, polímero | 53 |
| 11.2 | Tipos de clasificaciones de los polímeros | 53 |
| 11.2.1 | Por su estructura | 53 |
| 11.2.2 | Por su mecanismo de polimerización | 54 |
| 11.2.3 | Por su comportamiento en presencia de calor | 54 |
| 11.3 | Aplicaciones de los polímeros | 55 |
| 11.4 | Aditivos para polímeros | 59 |
| 11.5 | Procesos de manufactura de los polímeros | 60 |
| 12. | COMPUESTOS | 61 |
| 12.1 | Compuestos por partículas | 62 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 12.2 | Compuestos por fibras | 63 |
| 12.3 | Compuestos laminares | 63 |
| 13. | CORROSIÓN Y DESGASTE | 65 |
| 13.1 | Corrosión química | 65 |
| 13.2 | Corrosión electroquímica | 65 |
| 13.2.1 | Componentes de una celda electroquímica | 66 |
| 13.3 | Tipos específicos de corrosión | 67 |
| 13.3.1 | Corrosión galvánica | 67 |
| 13.3.2 | Corrosión por celda de concentración de oxígeno | 68 |
| 13.3.3 | Corrosión por cavitación | 68 |
| 13.3.4 | Corrosión por esfuerzo | 68 |
| 13.3.5 | Corrosión por concentración de trabajo en frío | 69 |
| 13.4 | Métodos para disminuir la corrosión | 69 |
| 13.5 | Desgaste | 73 |
| 13.6 | Factores que influyen en el desgaste | 74 |
| 13.7 | Protección contra desgaste | 74 |
| | CONCLUSIONES | 75 |
| | RECOMENDACIONES | 77 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 79 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Sistemas cristalinos | 16 |
| 2. | Diagrama de plano con índices de Miller (1,1,0) | 18 |
| 3. | Defectos puntuales en materiales cristalinos | 21 |
| 4. | Dislocación de borde. | 22 |
| 5. | Dislocación de tornillo | 23 |
| 6. | Máquina de ensayo de impacto Charpy | 31 |
| 7. | Deformación por deslizamiento en un sistema cristalino | 38 |
| 8. | Procesos de deformación o conformado de metales | 40 |
| 9. | Diagrama de solubilidad níquel-cobre | 47 |
| 10. | Cadena de poliestireno formada por monómeros de estireno | 54 |
| 11. | Envase de PET conformado por soplado | 58 |
| 12. | Celdas tipo panal | 64 |
| 13. | Esquema de oxidación del hierro | 67 |
| 14. | Protección por ánodo de sacrificio | 71 |

TABLAS

| | | |
|----|--|----|
| I. | Corriente necesaria para proteger el acero según su ambiente | 71 |
|----|--|----|

GLOSARIO

| | |
|----------------------------|--|
| Angstrom | Unidad de longitud usada en física, equivalente a 1×10^{-8} cm. |
| Atracción coulóbica | Fenómeno detallado en la ley de Coulomb, que dice que dos cuerpos cargados eléctricamente, se atraen o se repelen según sean los signos de sus cargas. |
| Escoria | Sustancia vítrea no metálica, producida por las impurezas en un metal o aleación en los procesos de fundición y refinación. |
| Esfuerzo | Fuerza ejercida sobre un cuerpo, por unidad de área. |
| Esfuerzo residual | Esfuerzo existente en un cuerpo aunque no se le esté aplicando ninguna fuerza externa. Son residuos de fuerzas aplicadas anteriormente sobre un cuerpo. |
| Ductilidad | Capacidad de un material de poder deformarse de forma plástica antes de fracturarse. (Cuando es sometido a esfuerzos). Se define un material dúctil como aquel cuya resistencia al deslizamiento es menor a la resistencia a la separación o fractura. |

| | |
|----------------------------|--|
| Durómetro | Maquina utilizada para efectuar ensayos de dureza. El más utilizado en nuestro medio es del tipo Rockwell. |
| Fragilidad | Propiedad de un material de separarse, fracturarse o figurarse, sin previa deformación. Un material frágil se define como aquel cuya resistencia a la separación es menor que su resistencia al deslizamiento. |
| Gravedad específica | Relación existente entre la densidad de una sustancia en comparación con la del agua. |
| Metalografía | Ciencia que estudia la estructura interna, composición y propiedades de los metales y sus aleaciones. |
| Radio atómico | Medida que sirve como parámetro para conocer el tamaño de un átomo. Partiendo de que se considera al átomo como una esfera con radio definido. |
| Tetrabrik | Sistema utilizado para envasar productos alimenticios líquidos o semilíquidos, con un material compuesto, consistente en una caja de cartón cubierta en su interior con una capa de un producto de aluminio, que a su vez es cubierta por una película de nylon. |
| Tratamiento térmico | Proceso de calentamiento y enfriamiento, por el cual se consigue alterar las propiedades de un metal o aleación. |

RESUMEN

La tecnología de los materiales está en una constante evolución en todos los campos de aplicación, por eso es importante que dentro de la preparación de un ingeniero diseñador de proyectos exista un sólido conocimiento sobre este tema.

En varios laboratorios se están desarrollando nuevos materiales como polímeros y cerámicos, que están desplazando a los materiales convencionalmente utilizados en la industria, como madera, vidrio y metales.

La Ciencia de los Materiales, es el estudio de la composición y propiedades de los diversos materiales, usados en Ingeniería a través de su análisis a escala atómica y molecular. La Ciencia de los Materiales se considera la introducción a la Ingeniería de Materiales, que es la que analiza y determina alternativas de aplicación en sus diversos campos, así como los métodos de fabricación de los productos.

También es un campo de la Ciencia de Materiales, las diversas formas de cómo puede deteriorarse y degradarse un material, por eso se finaliza este trabajo con los temas de corrosión y desgaste.

OBJETIVOS

General

Elaborar un documento electrónico con el contenido del curso Ciencia de los Materiales.

Específicos

1. Describir la teoría y conceptos básicos de los temas citados en el contenido del programa del curso Ciencia de los Materiales.
2. Actualizar la información existente, enfocándola a la formación didáctica de los estudiantes de esta escuela.
3. Investigar sobre las aplicaciones directas en la industria guatemalteca de la información obtenida.

INTRODUCCIÓN

La Ciencia de los Materiales se define como el estudio de las sustancias de las que está compuesto cualquier producto. Este estudio ha tenido una relevante participación en el desarrollo de la civilización humana y nuestro actual estilo de vida. Es por eso la importancia de su estudio general en una era de nuevas tecnologías y productos.

Teniendo como base el estudio atómico y la composición molecular de las sustancias, el curso de Ciencia de los Materiales pretende introducir al estudiante a una aplicación práctica en cada área específica del diseño de ingeniería. Por eso se han tomado en cuenta para la realización de la siguiente obra, temas netamente relacionados con la ingeniería de materiales y metalografía.

Es absolutamente necesario para un ingeniero orientado a la manufactura, estudiar un material a escala molecular y no solamente limitarse a sus propiedades y aplicaciones; ya que los fenómenos que afectan a un material se producen a nivel atómico.

1. PROGRAMA DEL CURSO

CIENCIA DE LOS MATERIALES

| | |
|------------------|--------------------------|
| CÓDIGO: | 452 |
| ESCUELA: | INGENIERÍA MECÁNICA |
| ÁREA: | MATERIALES DE INGENIERÍA |
| CICLO: | QUINTO |
| CRÉDITOS: | 5 |

DESCRIPCIÓN:

La ciencia de los materiales es el estudio de los requerimientos, propiedades y evaluaciones de los diversos materiales utilizados por la Ingeniería, por esto se hace necesario conocer de ellos su micro y macro estructura.

En el presente curso el estudiante se introducirá en los campos de los materiales metálicos, cerámicos, polímeros, compuestos, semiconductores y con memoria, de tal forma que adquiriera el conocimiento necesario para poder utilizar razonablemente los recursos disponibles en la elaboración de productos.

OBJETIVOS:

1. Introducir al estudiante en el área de materiales de Ingeniería.
2. Incentivar el deseo de investigación del estudiante acerca de las propiedades de los materiales para que él mismo pueda hacer deducciones de su comportamiento y empleo.

CONTENIDO:

1. INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES DE INGENIERÍA.
2. REPASO DE LA TEORÍA ATÓMICA Y LA ESTRUCTURA MOLECULAR.
3. ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA.
4. IMPERFECCIONES EN LOS MATERIALES CRISTALINOS.
5. MOVIMIENTO DE LOS ÁTOMOS EN LOS MATERIALES.
6. ENSAYO DE MATERIALES.
7. DEFORMACIÓN, ENDURECIMIENTO POR TRABAJO Y RECOCIDO.
8. SOLIDIFICACIÓN Y ALEACIÓN.
9. MATERIALES CERÁMICOS.
10. POLÍMEROS.
11. MATERIALES COMPUESTOS.
12. CORROSIÓN Y DESGASTE.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. William Smith. Editorial McGraw Hill, 2,004. Tercera Edición.
2. Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería. Shafer, Saxena, Antolovich. Editorial Continental, 2,000. Primera Edición.
3. La Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Donald Askeland. Editorial Iberoamericana.
4. Ciencia de los Materiales para Ingeniería. Peter Thorton & Vito Colangelo. Editorial Prentice Hall.

2. INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES DE INGENIERÍA

Cualquier tema que hoy en día se le designe como de alta tecnología, como la informática, robótica, telecomunicaciones, domótica, autotrónica, entre otros, tienen como fundamento el desarrollo de los materiales.

Esto significa que sin un desarrollo en nuevas propiedades de materiales existentes o el descubrimiento de nuevos materiales, no se podría tener avances en teléfonos celulares cada vez más pequeños, livianos y con mayor capacidad de funciones; así igual se tienen las computadoras personas con mayor capacidad de almacenamiento y rapidez de procesamiento de información, en envases atractivos, de poco peso y resistentes a esfuerzos como el impacto.

El año 2,005 pasa a la historia de la humanidad en cuanto a la confirmación de la factibilidad del trasplante de cara, con casos ocurridos en Europa. El sólo hecho de la preservación del tejido facial, su implantación, su adherencia y adaptabilidad, hacen que sea un material especial junto con los demás que se utilizaron.

Pero, es necesario diferenciar la Ciencia de los Materiales de la Ingeniería de los Materiales, porque así se puede elegir a qué especialidad se pertenece. La Ciencia de los Materiales se dedica a su estudio científico, el desarrollo de nuevas propiedades y el descubrimiento de nuevos materiales. Mientras que la Ingeniería de los Materiales toma la información anterior para determinar alternativas de aplicación y el desarrollo de procesos de manufactura para obtener productos.

Un caso ilustrativo es la selección que debe hacerse entre las innumerables alternativas de materiales que se pueden utilizar para envases

de bebidas, que pueden ir del tradicional vidrio, pasando por el aluminio, los polímeros, el tetrabrik, el cartón parafinado, hasta llegar si así se requiere, una cáscara de coco. Eso sí, se deben considerar variables que determina el cliente o usuario, tales como enfriamiento o calentamiento rápido, bajo peso, estibación considerable de producto, reciclado y reutilizado, contaminación relacionada a la obtención de la materia prima, o en el proceso o el descartado.

2.1 Metales

Se debe considerar que aproximadamente el 75% de los elementos químicos de la tabla periódica son elementos metálicos, los cuales se caracterizan por tener baja valencia, esto es, 1, 2 o a lo sumo 3 electrones en su última capa de energía. También, debe distinguirse un metal puro y un metal aleado. El metal puro como aluminio, cobre, estaño, cinc, magnesio, manganeso, titanio, hierro, antimonio, oro, plata, platino, entre otros; y se les llama metales puros porque ellos representan la mayoría en la composición química, y esta mayoría la determina la aplicación, es así que podría tener una presencia de 98% de Cobre y el restante 2% de otros elementos químicos que en este caso se les llama impurezas, que por cierto debe controlárseles porque mientras mayor sea su porcentaje, así mismo las propiedades del metal se van distanciando de las propiedades teóricas o fundamentales. El diseño de metales aleados se fundamenta en conseguir propiedades únicas, que por un solo metal no es posible obtener, es por ello que el cobre puede existir como bronce si se une con estaño, o bien obtener latón si se une con cinc. Pero la metalurgia ha llegado a grados altos de especificación que también existen aleaciones de bronce, para aplicaciones bastante especiales.

2.2 Cerámicos

Los materiales cerámicos son de composición inorgánica y no metálica formada por los elementos: carbono, nitrógeno, oxígeno, silicio y boro unidos por un enlace iónico. Los cerámicos poseen puntos de fusión relativamente altos, baja conductividad térmica y eléctrica y son muy frágiles. Entre sus aplicaciones más comunes en ingeniería son como aislantes y refractarios en la industria metalúrgica, revestimientos y partes en los motores de turbinas a gas, en la fabricación de contenedores de productos químicos (ácidos y bases) por su alta resistencia a la corrosión.

2.3 Polímeros

Los polímeros son materiales puros, generalmente se conocen como Macromoléculas (Moléculas grandes) de cadena larga del proceso de polimerización.

Cuando los polímeros son mezclados con algún tipo de aditivo (pierden su pureza), son llamados técnicamente como **plásticos** o **resinas** (aunque generalmente se clasifican como polímeros). En la actualidad la mayor parte de los polímeros utilizados en la industria son productos sintéticos como plástico y nylon, aunque estos pueden ser de origen natural como hule o cera. (la fibra muscular es considerada un polímero natural). Los plásticos forman una clase de materiales muy diversa (son mas de 15,000), con una gran variedad de propiedades y formas de elaboración; así también son sus aplicaciones en la mayoría de industrias sustituyendo materiales como papel, vidrio y madera; También en campos científicos, como en la elaboración de prótesis de partes del cuerpo humano.

2.4 Materiales compuestos

Aunque estos están clasificados entre los polímeros, los materiales compuestos forman una clase muy distinta de materiales. También llamados composites, son una combinación macroscópica de materiales metálicos, poliméricos o cerámicos que tienen una interfase o superficie de contacto identificable (no están fusionados homogéneamente). Uno de estos materiales recibe el nombre de matriz (generalmente el principal o el mas abundante) y el otro se conoce como relleno o refuerzo.

Uno de los materiales compuestos mas comunes es el plástico reforzado; donde la matriz es un plástico y el refuerzo puede ser un metal, cerámico o polímero en forma de partículas, fibras cortas o fibras larga continuas.

2.5 Semiconductores

En esta era de tecnología electrónica, los semiconductores se han hecho indispensables en la forma de vida de la humanidad. Desarrollados en el ambiente de vehículos espaciales y misiles intercontinentales bajo la necesidad de contar con dispositivos electrónicos pequeños, livianos y de bajo consumo de potencia.

Un material semiconductor es el que tiene un resistencia eléctrica entre 1 y 100 ohms/centímetro; Pueden ser elementos puros (relativamente) como el germanio y el silicio o compuestos orgánicos e inorgánicos como el caso de algunos polímeros. Los mas usados en la industria electrónica son los elementos puros, que al enfriarse desde el estado liquido sus átomos se ordenan en cristales enlazados de forma covalente por cuatro electrones de valencia. En los compuestos el número de electrones puede variar aunque casi siempre es un número par.

La resistividad de los materiales semiconductores elementales o de compuesto puede cambiarse intencionalmente agregando cantidades muy reducidas de impurezas al cristal. En modo de comparación, un silicio considerado puro bajo estándares ordinarios tiene un átomo de impureza por cada 5×10^8 átomos de silicio. Los elementos más comunes con que se impurifica el silicio son el boro, aluminio y fósforo.

2.6 Con memoria

Los materiales con memoria son conocidos dentro de la categoría de materiales **inteligentes**, se describen como una clase de materiales que cuentan con la capacidad de alterar sus capacidades físicas al ser excitados por fenómenos físicos o químicos. Para su estudio profundo los materiales inteligentes se pueden dividir en tres grupos: a) Materiales con memoria de forma, b) Materiales electro y magnetoactivos, c) Materiales foto y cromóactivos.

Un ejemplo común es un trozo de alambre o fleje de un metal parecido al latón, que a temperatura ambiente (20°C) tiene forma de $\frac{1}{2}$ círculo, posteriormente se calienta con una flama (60°C), el trozo de metal se endereza (cambia de forma) y recupera su forma inicial al ser enfriado a temperatura ambiente. Este material cuenta con esta propiedad debido al llamado efecto memoria de forma, que hace que el metal cambie su forma a una temperatura indicada.

3. REPASO DE LA ESTRUCTURA ATÓMICA Y LA ESTRUCTURA MOLECULAR

El átomo es la unidad más pequeña en que puede dividirse un elemento químico que influye directamente en las propiedades de los materiales.

3.1 Estructura del átomo

La mecánica cuántica dice que un átomo se compone por un núcleo formado por partículas de carga positiva llamadas protones y partículas no cargadas llamadas neutrones. A estas partículas se les llama nucleones. El núcleo está rodeado de una nube de electrones cargados negativamente y unidos a este por atracción coulombica. Los electrones están perfectamente ordenados en capas conocidas como niveles y subniveles de energía. Un átomo eléctricamente balanceado tiene la misma cantidad de electrones y protones. Se le llama número atómico al número de protones que tiene un elemento, este a su vez determina la posición del elemento en la tabla periódica.

La masa de un electrón es aproximadamente 9.1094×10^{-28} gramos y cada nucleón pesa 1837 veces más que un electrón. Átomos de un mismo elemento pueden tener distinto número de neutrones, por tanto tendrían diferente masa atómica, a estos se les llama **isótopos**.

3.2 Enlaces atómicos

Para que ocurra un enlace entre átomos tiene que existir afinidad química entre ellos, la atracción coulombica o electrostática que mantiene unido al átomo juega un papel muy importante en el enlace entre electrones. Los electrones de valencia son los que están en el último subnivel de energía del

átomo junto con “espacios vacantes” que dependen del número de electrones del átomo. Estos electrones suelen ser atraídos por otros átomos que tienen espacios no ocupados en sus niveles de energía. La capacidad de un átomo de atraer electrones hacia si mismo se le llama **electronegatividad**. Los materiales **electropositivos** seden electrones fácilmente se y clasifican como **metálicos**, y los que los aceptan como **no metálicos**; aunque existen muy pocas excepciones.

3.2.1 Enlace iónico

El enlace iónico llamado también electrovalente ocurre cuando se transfiere uno o mas electrones a otro elemento químico, (uno metálico y el otro no metálico) dando como resultado iones unidos por la atracción electrostática. Las sustancias unidas por este enlace no conducen electricidad en su estado cristalino por que no existe movimiento de electrones en el cristal. Si tienen conductividad eléctrica y térmica en su estado liquido. En un enlace iónico algunos átomos pierden los electrones más externos y se convierten en **cationes**, mientras que otros átomos ganan electrones y se convierten en **aniones**.

3.2.2 Enlace covalente

Un enlace covalente puro existes solo entre átomos del mismo elemento. Existen también enlaces covalentes entre átomos de distintos elementos, pero en este caso no existe simetría entre la distribución de electrones. Las sustancias formadas por este enlace no conducen la electricidad, no tienen brillo ni ductilidad.

3.2.3 Enlace metálico

Átomos clasificados como electropositivos (metálicos) de distintos elementos pueden enlazarse formando un enlace metálico. En este enlace

los electrones son compartidos por los átomos pero pueden moverse a través del sólido, proporcionando conductividad térmica y eléctrica, ductilidad y brillo.

3.2.4 Fuerzas de van der Waals

Es una fuerza débil de atracción que puede existir entre las moléculas y los átomos. Bajo ciertas condiciones permiten la licuefacción y solidificación. A estas fuerzas se debe la condensación de los gases nobles.

4. ELEMENTOS DE LAS ESTRUCTURAS CRISTALINAS

4.1 Sistemas cristalinos

El arreglo u ordenamiento de los átomos en un material sólido, juega un papel importante en la determinación de su microestructura y de sus propiedades.

En los gases y en la mayoría de los líquidos los átomos y moléculas no cuentan con un arreglo determinado (están distribuidos aleatoriamente), a este fenómeno se le conoce como **Desordenación**. En algunos casos como el agua y la mayoría de los polímeros, existe un ordenamiento de corto alcance consistente solo entre los átomos de la molécula individual que es llamado **Ordenamiento Particular**. En los metales y en algunos cerámicos y polímeros el arreglo o disposición de los átomos es de largo alcance y relativamente uniforme y se le llama **Ordenamiento General**. Este ordenamiento atómico forma un patrón reticular repetitivo que en ciencia de materiales se llama **red espacial**. La **estructura cristalina** de un material es todo lo referente su forma, tamaño y ordenamiento atómico dentro de la red.

Las retículas de la red pueden tener una de siete formas llamados estructuras o sistemas cristalinos:

Cúbica (la mas sencilla y común), tetragonal, ortorrómbica, hexagonal, romboédrica, monoclinica y triclinica.

4.2 Celda unitaria

La celda unitaria es la menor subdivisión de una red espacial, que tiene la simetría total del cristal, (una red se constituye por la unión de celdas unitarias idénticas).

Existen 14 tipos de celdas unitarias agrupadas en los siete sistemas cristalinos descritos con anterioridad. Un número específico de átomos (diagramados como puntos de red o nodos) define a cada una de las celdas unitarias. Por ejemplo, En cada una de las esquinas existe un nodo que está compartido por siete celdas unitarias adyacentes, solamente $\frac{1}{8}$ de átomo en cada esquina pertenece a una celda en particular, una celda unitaria cúbica tiene ocho esquinas, si multiplicamos $\frac{1}{8}$ de átomo por 8 (número de esquinas de una celda cúbica) el resultado es uno; que es el número de átomos contenidos en una celda unitaria **Cúbica simple**.

La gran mayoría de los metales y algunos materiales usados en la industria se cristalizan en los sistemas cúbicos y hexagonal, por eso se hace un énfasis en estos.

4.2.1 Cúbica centrada en el cuerpo (BCC)

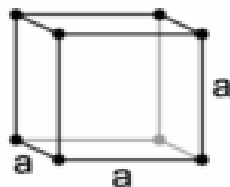
Es llamada BCC por sus siglas en inglés (body – centered cubic) . Partiendo de la celda unitaria cúbica simple (SC), esta alberga un átomo en el centro de la red que no es compartido con otra celda. Esto indica que la estructura de la celda BCC contiene dos átomos. Metales como tungsteno, cromo, molibdeno, vanadio, sodio, hierro alfa(α) y hierro delta (δ) cristalizan bajo esta estructura.

4.2.2 Cúbica centrada en las caras (FCC)

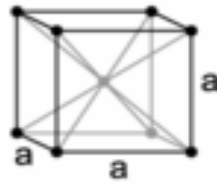
Conocida también por FCC (face-centered cubic), en esta celda además de haber un átomo en cada esquina del cubo, existe una en el centro de cada cara que es compartido por un solo cubo adyacente; no existe átomos en el centro del cubo. El cubo tiene seis caras y en cada una existe un átomo compartido por la mitad ($6 \times \frac{1}{2}$), sumando el átomo compartido en las esquinas en total son cuatro átomos contenidos en celda. Como se ve, esta es más densamente poblada por átomos que una BCC.

Aluminio, oro, plata, níquel, cobre, plomo, platino y hierro gamma (γ) cristalizan bajo esta estructura.

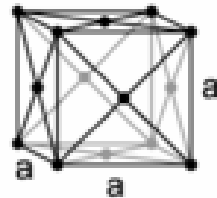
Figura 1. Sistemas cristalinos



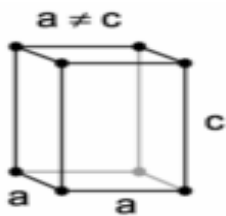
cúbica simple



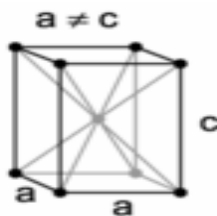
cúbica centrada en el cuerpo



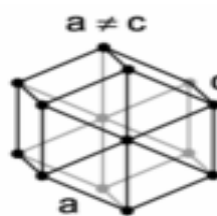
centrada en las caras



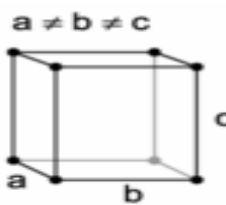
Tetragonal simple



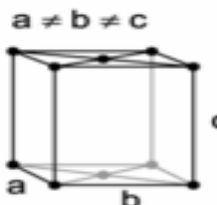
Tetragonal centrada en el cuerpo



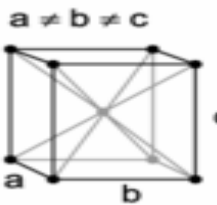
Hexagonal



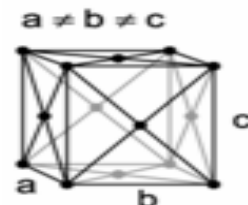
Ortorrómbica simple



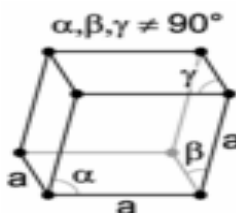
Ortorrómbica centrada en las bases



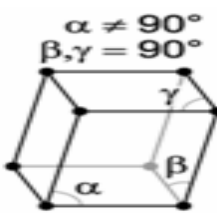
Ortorrómbica centrada en el cuerpo



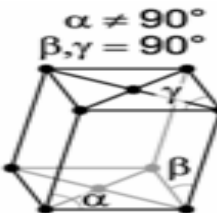
Ortorrómbica centrada en las caras



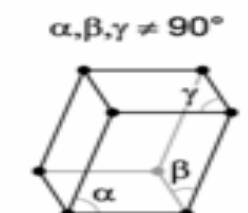
Romboédrico



Monoclínica simple



Monoclínica centrada en las bases



Triclínica

4.2.3 Hexagonal compacta (HCP)

Llamada también HCP(hexagonal close-packed) es una forma especial de la red hexagonal (no es una celda unitaria). La base de esta red son dos planos hexagonales regulares con un átomo en cada esquina y uno en el centro, además contiene tres átomos ordenados en forma de triángulo en el centro de la distancia entre los dos planos hexagonales. La celda unitaria es un prisma derivado del hexágono. Metales como el titanio, zinc, magnesio y cobalto cristalizan formando una red de este tipo.

4.3 Poliformismo y alotropía

El **poliformismo** en un material es la propiedad de poder existir en más de un tipo de red espacial en el estado sólido; y si este fenómeno es reversible entonces se conoce como **alotropía**. Los materiales que tienen dicha propiedad se les llama **alotrópicos**.

Más de quince metales muestran esta propiedad. Un ejemplo peculiar de este fenómeno es el hierro, cuando cristaliza a 1538°C es BCC(hierro delta δ) y cambia a FCC(hierro gamma γ) a 1400°C y se transforma de nuevo en BCC(hierro alfa α) a 910°C . Esta propiedad es la base de los tratamientos térmicos en el hierro y el titanio.

4.4 Planos cristalográficos

Los planos o las capas de átomos ordenados en la estructura de un cristal reciben el nombre de Planos Atómicos o Cristalográficos. A lo largo de estos planos es donde ocurren las fallas de un cristal, trayendo consecuencias prácticas como la deformación o fractura de un metal sometido a esfuerzo.

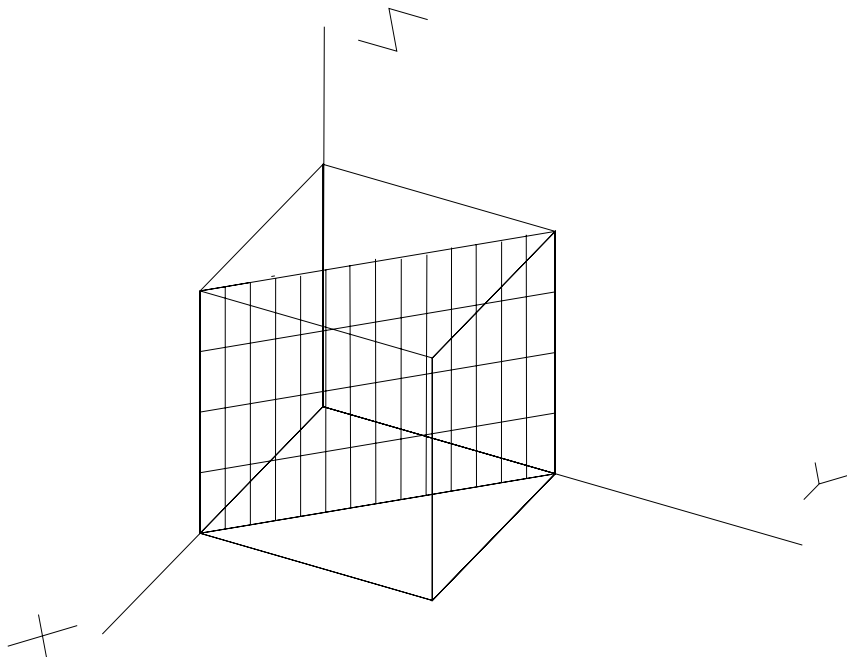
4.4.1 Índices de Miller

Para poder identificar la orientación de un plano con respecto a los ejes de la celda unitaria (suponiendo que una esquina de la celda unitaria sea el origen de coordenadas espaciales), se utilizan tres números llamados índices de Miller. Los índices de Miller de un plano se definen como los recíprocos de las intercepciones de dicho plano sobre el sistema de coordenadas. Cuando un plano es paralelo a un eje, se dice que este lo intercepta en el infinito. Por ejemplo, para un plano paralelo al eje Z y que intercepta a los eje X y Y(suponiéndose en 1), se dice que este interceptara al eje Z en el infinito(∞).

| | X | Y | Z |
|-------------------|-----|-----|-------------|
| Intersección | 1 | 1 | ∞ |
| Recíproco | 1/1 | 1/1 | 1/ ∞ |
| Índices de Miller | 1 | 1 | 0 |

Considerando que $1/\infty$ tiende a cero.

Figura 2. Diagrama del plano con índices de Miller (1 1 0)



4.5 Mecanismo de cristalización

La cristalización de un material cristalino es el proceso de transición desde el estado líquido al sólido. En el estado líquido (cuando el material es sometido a temperaturas más altas que la de fusión) los átomos no tienen un orden definido; Mientras que en el estado sólido los átomos tienen un orden regular. La cristalización ocurre en dos etapas: 1) Formación de núcleos 2) Crecimiento del cristal.

Cuando pequeñas partículas sólidas se forman dentro del material líquido (al enfriarse a temperaturas inferiores a las de cristalización) ocurre la formación de núcleos o **Nucleación**. El número de núcleos que puede formar un material en cristalización es indefinido y depende de factores como: tipo de material o aleación y condiciones de enfriamiento. Los átomos del resto del líquido se van adhiriendo a los núcleos formando cristales hasta que el líquido se termine. Cada núcleo al que se le adhieren los átomos en todas direcciones, es formado al azar y tienen entre sí diferentes orientaciones (distintos índices de Miller), y son llamados **dendritas**. Conforme va disminuyendo la cantidad del líquido, el tamaño de cada dendrita aumenta hasta que el crecimiento es interrumpido entre sí por las dendritas vecinas. Al terminar la solidificación, la microestructura del metal o material cristalino está constituida por muchos cristales contiguos llamados **granos**. Un grano es una porción de un material formada por un solo cristal; en dicho material el arreglo atómico del cristal de cada grano es el mismo, pero cada cristal tiene orientación diferente.

Muchas de las propiedades de un metal o aleación, dependen directamente de su *tamaño de grano*. El tamaño de grano en una fundición metálica está directamente ligado con la rapidez de nucleación y la rapidez de crecimiento del grano. Si se logran formar muchos núcleos cuando una fundición está cristalizando, el material será de *grano fino* (formará muchos

granos). Por lo contrario, un material será de *grano grueso* si durante la cristalización no presenta muchos núcleos.

El factor mas importante que afecta la rapidez de nucleación (y por consiguiente el tamaño de grano) es la rapidez de enfriamiento del material fundido. En materiales como el acero, impurezas insolubles como el aluminio y el titanio contribuyen a una mejor formación de núcleo.

Los materiales de grano fino cuentan con una mejor tenacidad y son mas duros que los de grano grueso.

4.6 Sitios intersticiales

Se les llama así a los espacios vacíos o huecos que existen entre los átomos que forman la estructura cristalina.

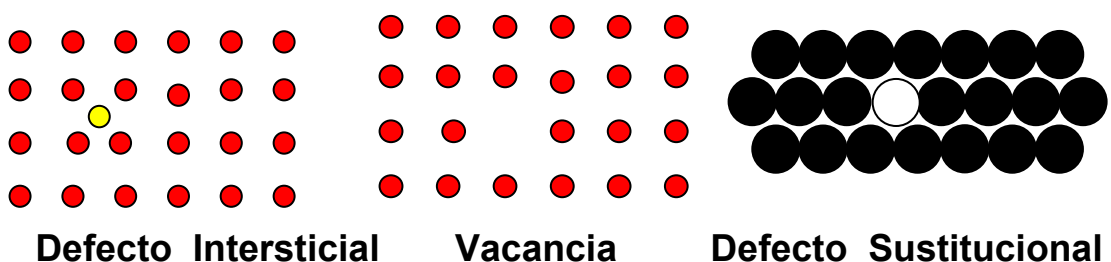
5. IMPERFECCIONES EN LOS MATERIALES CRISTALINOS

5.1 Defectos puntuales

Estos defectos son discontinuidades de la red que abarcan uno o varios átomos. Se les llama puntuales o de punto porque son causados por átomos individuales.

Se sabe que durante la solidificación de un material los átomos se alinean ordenadamente, pero es normal que algunos átomos no ocupen su respectivo lugar (aproximadamente uno de cada 1.5 millones, bajo condiciones normales). Cuando hace falta un átomo en un nodo de un cristal el defecto se nombra como **hueco** o **vacante**; También recibe el nombre de defecto **Schottky**. Por lo contrario, un **defecto intersticial** ocurre cuando un átomo adicional se aloja en la estructura del cristal en lugar donde no es un nodo. Cuando un átomo de la red es sustituido en un nodo por un átomo diferente (de otro elemento) el defecto se conoce como **sustitucional**. Tanto el defecto sustitucional como el defecto intersticial (cuando el átomo incrustado es de un elemento diferente al del cristal) son considerados impurezas, que pueden ser incrustadas intencionalmente como elementos de aleación.

Figura 3. Defectos puntuales en materiales cristalinos



5.2 Defectos lineales

Los efectos lineales más conocidos son las **dislocaciones**, que se definen como una región o plano de átomos que distorsiona la simetría de un cristal. Los tipos más sencillos y comunes de dislocaciones son:

a) Las dislocaciones **de filo** o **de borde**, puede ocurrir por factores como el deslizamiento de una sección de átomos, pero el resultado es una sección o borde de un plano de átomos incrustado en el cristal.

b) La dislocación de **tornillo** o de **espiral** llamada así por la superficie formada (en forma de espiral) por los planos atómicos alrededor de la línea de la dislocación. Se puede imaginar esta dislocación como un corte parcial del cristal el cual es deslizado paralelamente al corte una distancia atómica, el ordenamiento cristalino permanece en ambos lados del cristal excepto cerca de la línea de dislocación.

Figura 4. Dislocación de borde

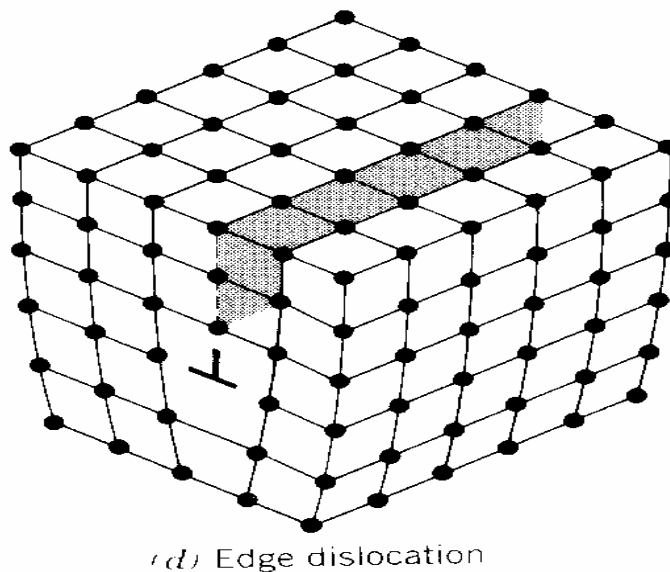
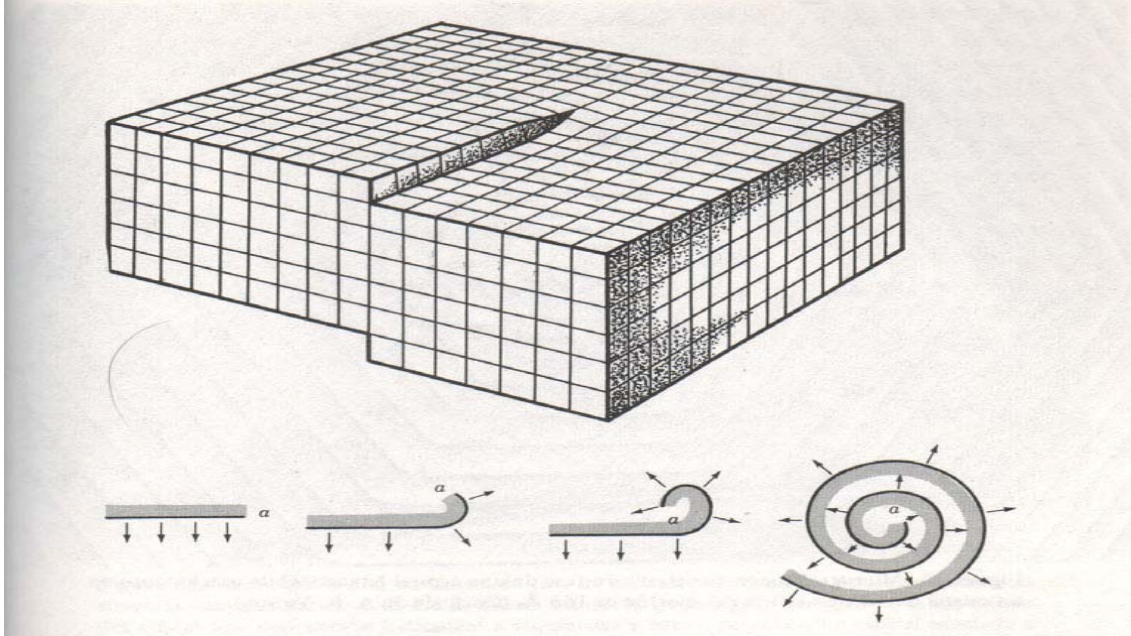


Figura 5. Dislocación de tornillo



5.3 Defectos de superficie

Estos defectos son los límites que seccionan en regiones o granos. Los **bordes de grano** es la superficie existente que separa a los granos individuales, es una zona estrecha donde los átomos se encuentran poco ordenados, de una manera amorfa y no cristalina.

Las propiedades de un metal pueden ser controladas a través del **endurecimiento por tamaño de grano**. Disminuyendo el tamaño de grano se aumenta el número de granos por unidad de volumen, incrementándose también los bordes de grano. De esta forma se logra incrementar su resistencia del metal. El número de granos por unidad de área (para la norma ASTM se utilizan pulgadas cuadradas) de un metal se determina por una fotografía del metal amplificada cien veces (x100).

6. MOVIMIENTO DE LOS ÁTOMOS EN LOS MATERIALES

Al movimiento de los átomos en un material se le llama **difusión**.

6.1 Estabilidad de los átomos

Aun en una porción de materia pura considerada físicamente estable, los átomos de la red están en un continuo movimiento de acondicionamiento buscando un equilibrio, a esto se le llama **autodifusión**; este fenómeno no solo ocurre en materiales cristalinos, en los líquidos y en los gases a temperatura ambiente las moléculas están en un constante y exagerado movimiento que varía dependiendo de factores como presión y temperatura. El vidrio en estado sólido tiene un alto movimiento de átomos por eso es considerado un líquido sobreenfriado. (El vidrio es un material no cristalino). El **coeficiente de difusión** o *difusividad*, toscamente descrito es un parámetro que indica la facilidad con que los átomos se mueven en un material. Este puede ser proporcional a la temperatura del material, y se mide en cm^2/s .

Del movimiento de los átomos dependen muchas propiedades de los materiales como conductividad eléctrica y térmica, también interviene en los tratamientos térmicos en el caso de los metales.

6.2 Mecanismo de difusión

Si dos metales **A** y **B** se unen por contacto superficial, los átomos del metal **A** se difundirán en el metal **B** y viceversa, los átomos de **B** emigrarán hacia **A** formando una sola aleación homogénea. Por supuesto, en un

periodo bastante prolongado. El coeficiente de difusión especifica la rapidez de este fenómeno.

Existen varios mecanismos por los cuales los átomos se difunden: a) la **difusión por vacantes** que ocurre por medio de la sustitución de átomos, cuando un átomo deja su lugar en la red para ocupar una vacante cercana dejando al mismo tiempo su posición original vacante. B) la **difusión intersticial**, en este mecanismo la difusión no requiere de vacantes para llevarse a cabo; ocurre cuando un átomo deja su lugar original y se aloja en un sitio intersticial entre átomos, en la mayoría de los casos los átomos no se ajustan al espacio del sitio intersticial por eso este mecanismo de difusión es poco común. Aunque existen otros mecanismos de difusión como el **Intercambio** y el mecanismo **cíclico**, en la mayoría de los casos, los dos primeros son los originarios de la difusión.

6.3 Primera ley de Fick (velocidad de difusión)

La primera ley de Fick determina la velocidad de difusión por medio de la densidad e flujo atómico **J**; literalmente dice: *“dice que el flujo difusivo que atraviesa una superficie (J en mol cm⁻² s⁻¹) es directamente proporcional al gradiente de concentración.”* Descrito en formula como:

$$J = -D (\Delta c / \Delta x)$$

Donde **J**(densidad de flujo) es el numero de átomos que pasa a través de un plano de área unitaria por unidad de tiempo, D (que es el coeficiente de proporcionalidad) es el coeficiente de difusión y $(\Delta c / \Delta x)$ es el **gradiente de concentración**. Este gradiente indica la diferencia de concentración atómica Δc sobre la distancia Δx , como se menciono los átomos buscan siempre el equilibrio de concentración (una concentración homogénea) en todas las partes de un cuerpo.

6.4 Segunda ley de Fick (perfil de composición)

Al inicio de la difusión, el flujo de átomos es alto como lo es el gradiente de concentración, pero decrece gradualmente conforme el gradiente se reduce. La segunda ley estipula que *“el gradiente de concentración en un punto específico de la ruta de difusión cambia con el tiempo.”* Por medio de la ecuación diferencial:

$$\Delta c / \Delta t = D (\Delta^2 c / \Delta x^2) \quad \text{o} \quad dc / dt = D (d^2 c_x / dx^2)$$

Donde c_x es la concentración específica en el punto x . Entonces la segunda ley de Fick permite calcular la concentración atómica en un punto específico en función del tiempo.

6.5 Tipos de difusión

Como se ha mencionado, el conocimiento sobre el fenómeno de la difusión es un factor determinante en el tema de tratamientos térmicos de los metales, especialmente en los llamados **superficiales**. Son llamados así porque el cambio ocurrido por la difusión ocurre solo en la superficie (puede ser una o todas) o bordes del cuerpo dejando el alma o el centro del cuerpo con sus propiedades originales, no afectado por la difusión. De hecho hay un tipo de difusión que tiene este nombre: **la difusión superficial** que es la que necesita la menor energía de activación por tener no muchos obstáculos en contra de la difusión. Contrariamente a la difusión superficial, la **difusión volumétrica** necesita de una energía de activación muy grande y la velocidad de difusión es relativamente baja. Existen otros tipos pero el más relevante en ingeniería de materiales es la difusión superficial.

Los tratamientos térmicos superficiales producidos por este tipo de difusión son: *Carburización, Nitrurización, Cianuración o Carbonitrurización, Boruración, Endurecimiento por flama y Endurecimiento por inducción*. Como ejemplo más sencillo podemos tomar la carburización, que es el más conocido y de los más baratos métodos de endurecimiento superficial. Consiste en endurecer la superficie de la pieza de hierro o acero para hacerla más dura y resistente aumentando el contenido de carbono en sus bordes, se coloca la pieza en un recipiente, suspendida y rodeada totalmente por carbono activado (es vendido comercialmente para varios usos), sin presencia de oxígeno (el recipiente utilizado debe ser hermético) se aumenta la temperatura arriba de los 1000°C para acelerar el proceso de difusión, los átomos del carbono se “incrustan” en las superficies de la pieza. El incremento de dureza se puede comprobar con un durómetro.

7. ENSAYOS DE MATERIALES

Los materiales son seleccionados para diferentes usos y aplicaciones dependiendo de sus propiedades. Las múltiples aplicaciones de los distintos materiales en la industria contemporánea han hecho surgir una gran lista de nuevas propiedades, pero este capítulo está enfocado en las propiedades mecánicas. Los *ensayos* de materiales son utilizados en ingeniería para determinar las propiedades y/o defectos de un material en general (una probeta) o de una pieza en particular. Pueden ser *destructivos* (si se destruye total o parcialmente la probeta o la pieza), o *no destructivos* (no afecta la integridad de la pieza y puede utilizarse de nuevo.)

7.1 Ensayos destructivos

Los ensayos mecánicos en su mayoría son destructivos, las realizadas más frecuentemente son:

- a) El **ensayo de tensión** o de tracción esta mide la resistencia de un material a una fuerza tensora aplicada gradualmente. La probeta es sujeta por los dos extremos por los cabezales de la máquina de ensayo y se somete a la carga axial, que es medida en la máquina por un disco calibrado. Conociéndose el área transversal original de la probeta puede calcularse el *esfuerzo* σ , conociéndose también el alargamiento producido por el ensayo (generalmente medida en la máquina con un instrumento llamado extensómetro) y dividiéndose

entre la longitud original se puede determinar la *deformación unitaria* ϵ .

$$\sigma = F / A \qquad \epsilon = (l - l_0) / l_0 \qquad l - l_0 = \text{alargamiento}$$

Las propiedades que mas usadas que se pueden determinar por este ensayo son: Limite proporcional, limite elástico, punto de cedencia o fluencia, ductilidad y Modulo de elasticidad.

- b) El **ensayo de fatiga** es una prueba de tipo dinámico porque la probeta del material a probar no es sometida a una carga estática sino que varia de manera continua. En esta prueba se procura simular condiciones de esfuerzos que sufre un material sometido a la vibración producida por una carga cíclica. Aunque el esfuerzo máximo aplicado en esta prueba sea inferior al punto de fluencia, el material puede fracturarse luego de varias aplicaciones del esfuerzo.

Para este ensayo, la prueba de la viga en rotación es la mas usada, consiste en una viga sujeta por sus extremos y a la que se le aplica un esfuerzo de flexión puro, el espécimen se pone a girar axialmente entonces el esfuerzo de flexión varia continuamente de compresión máxima a tensión máxima.

El esfuerzo en el límite de fatiga σ_e se define como el máximo valor del esfuerzo de flexión que una probeta simple puede soportar durante 10 millones o mas de ciclos de carga sin fallar.

- c) El **ensayo de Impacto** se realiza en un material cuando por diseño se sabe que estará expuesto golpes o choques fuertes y repentinos. La maquina utilizada par este ensayo consiste en un péndulo pesado que partiendo de una altura h recorre una trayectoria en forma de arco hasta impactar la probeta, que generalmente se rompe. Las maquinas modernas dan una lectura directa de la **energía de impacto** absorbida por la probeta que puede ser expresada por *pies-lb fuerza*

o *joules*. Dependiendo de la colocación de la probeta la prueba puede llamarse: **Charpy**, cuando la probeta es una pequeña viga simple con dos apoyos con tope; **Izod**, cuando la probeta es sujeta por el tornillo del banco como una viga en voladizo. (La probeta puede o no tener una muesca para guiar la fractura).

La **tenacidad** es la capacidad de un material para resistir un impacto, y aunque esta puede obtenerse calculándose el área bajo la curva esfuerzo-deformación, la prueba de impacto indica la *tenacidad relativa*.



Máquina de ensayo de impacto Charpy

- d) El **ensayo de Dureza** parte del concepto de *dureza* en ingeniería de materiales, que es la resistencia a la penetración de un material por su superficie. La dureza está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas por lo que no es una propiedad fundamental de un material. Las pruebas de dureza se pueden dividir en tres clases: *Dureza elástica*, *Resistencia al corte o abrasión (prueba de ralladura)*, *Resistencia a la indentación o penetración*.

La prueba de dureza más comúnmente aplicada es la de resistencia a la penetración, esta prueba generalmente consiste en una marca o impresión superficial de geometría determinada que se le hace a la probeta, bajo una carga estática conocida que es aplicada por la maquina de ensayos. De este tipo existen dos ensayos mas conocidos: **Rockwell** y **Brinell**.

La maquina de ensayos Brinell es una prensa hidráulica vertical diseñada para marcar una probeta con un marcador en forma de bola, que en un ensayo estándar mide 10mm de diámetro, aplicándosele una carga de 3000Kg. durante 10seg. Para metales ferrosos y de 500Kg. por 30seg. Para no ferrosos. El diámetro de la impresión producida en la probeta es medida a través de un microscopio que tiene una escala ocular. El numero de dureza Brinell BH, es dado por la razón de la carga en kilogramos al área de la impresión en milímetros cuadrados.

En la maquina ensayo de dureza Rockwell de lectura directa, la profundidad es medida y es convertida a un numero de dureza Rockwell **HR** automáticamente. En este ensayo se utiliza una bola pequeña de acero para materiales suaves y para materiales mas duros se utiliza un cono de diamante.

- e) El ensayo de **Termofluencia** determina la fluencia o el cambio continuo en la deformación de un material, a temperaturas elevadas. Es un ensayo de gran peso cuando se selecciona el material para fabricar partes que transmiten potencia en maquinas a altas temperaturas. Consiste en someter a un esfuerzo constante a una probeta cilíndrica que se ha colocado previamente dentro de un horno para aumentar su temperatura. Cuando se aplica el esfuerzo de tensión la probeta se deforma obteniéndose así ϵ_1 que luego se compara con la deformación unitaria ϵ a temperatura normal.

7.2 Ensayos no destructivos

Llamados comercialmente NDI del ingles *No destruction Inspeccion*. En la mayoría de los casos, las pruebas o ensayos no destructivos no ofrecen una medición directa de las propiedades mecánicas, pero son de gran valor a la hora de detectar defectos en los materiales que podría afectar su desempeño en cualquier elemento de una maquina sometido a esfuerzos. El desarrollo en la técnica de estos ensayos ha permitido localizar pequeñas fallas muchas veces no visibles a simple vista, que anteriormente no eran tomadas en cuenta y que en gran parte de los casos son causantes del colapso de piezas de maquinas, trayendo varias veces consecuencias trágicas.

Son muchos los aportes de los NDI a la industria moderna. Básicamente hacen los productos más confiables y seguros, especialmente los que tienen una función critica, como partes de aeronaves, reactores nucleares y vehículos espaciales. Anteriormente a la aplicación de estos ensayos, las partes de una maquina se diseñaban con factores de seguridad muy altos, por lo tanto eran mas voluminosas, pesadas y caras. Por ejemplo, en los años 50`s para garantizar el prolongado funcionamiento del eje de un camión, se construía con casi el doble del acero que se emplea en el eje de uno actual de la misma capacidad.

Los NDI se pueden clasificar en dos tipos: superficiales y subsuperficiales.

7.2.1 Ensayos no destructivos Superficiales

Se llaman así porque la inspección de una pieza se limita a su superficie. Entre los ensayos superficiales se puede mencionar:

- a) **Inspección visual.** Generalmente se hace con la ayuda de lentes de aumento. Cuando un defecto puede ser visto a simple vista, la pieza ya colapsó en más de un 90%.

- b) **Líquidos penetrantes** Con este NDI pueden detectarse pequeñas discontinuidades como contracciones, porosidades y grietas que afloran a la superficie. Este método es principalmente aplicado a materiales no magnéticos como metales no ferrosos, vidrio, polímeros y algunos cerámicos; se requiere que el material sea homogéneo y de superficie pulida.

La pieza a inspeccionar, es rociada o sumergida en un líquido colorante o **trazador** que es absorbido por las discontinuidades y fisuras por capilaridad. Después del tiempo que el trazador necesita para filtrarse, el residuo de la superficie es removido con agua (el que penetró en la fisura se mantiene incrustado); luego la pieza se cubre con un polvo seco o **revelador** que se adhiere al líquido incrustado en las fisuras. Finalmente la pieza es inspeccionada bajo una lámpara de luz ultravioleta conocida como *luz negra* que hace notar fácilmente el trazador incrustado en las fisuras.

- c) **Partículas magnéticas** Esta prueba puede ser aplicada solamente a materiales ferromagnéticos como el hierro y el acero. Esta prueba además de detectar discontinuidades como fisuras y poros en la superficie también lo hace muy ligeramente por debajo de ella. Consiste en inducir un campo magnético a la pieza a inspeccionarse (Puede ser colocando el metal en una bobina) y luego cubrirse con finas partículas magnéticas (polvo de hierro) que se adhieren a la pieza haciendo notar la forma de la discontinuidad ya que al existir un

fisura el campo magnético se hace discontinuo creando dos subpolos magnéticos a donde las fisuras son atraídas.

7.2.2 Ensayos no destructivos Subsuperficiales

Con estos ensayos detectan discontinuidades muy por debajo de la superficie de una pieza. Los más usados son:

- a) **Ultrasonido** Es un método ya muy antiguo que consiste en utilizar ondas sonoras fuera del intervalo auditivo de entre los 500 kHz a los 5 MHz (por eso es llamada prueba ultrasónica) ya que un material puede transmitir como reflejar ondas elásticas. Las ondas son producidas electrónicamente por un transductor ultrasónico utilizando el *efecto piezoeléctrico* que es el cambio de energía eléctrica a energía mecánica; este efecto produce vibración mecánica en el transductor que es cristal (generalmente de cuarzo) que transforma la vibración en ondas sonoras.

En la técnica mas usada de ultrasonido, el de **eco-pulsos** o reflexión, cuando la onda sonora transmitida a través del material encuentra una irregularidad, se refleja parcialmente y regresa al transductor: un osciloscopio exhibe tanto los pulsos emitidos como los reflejados. Haciendo una comparación de los tiempos que las ondas ocupan en ser transmitidas y reflejadas se puede determinar la ubicación, tamaño y forma de las fallas.

- b) **Radiografía Industrial** Las pruebas radiográficas se valen de la transmisión y la absorción de radiación de un material para producir una imagen visual de cualquier defecto. Se realiza mediante la emisión de rayos X o rayos gamma (que son fuentes de radiación) que repelen o absorben en pequeña o gran escala la radiación. Por medio de un sistema de detección que generalmente es una película

especial que detecta la radiación que pasa a través de material o una pantalla de fluorescente o una de televisión. La absorción de la radiación en defecto o discontinuidad es diferente que la del resto del material y eso es detectado. La radiografía es muy utilizada para revisar pieza fundidas y uniones soldadas. También se usa para medir espesores de capas de materiales.

- c) **Holografía** Es uno de los métodos de NDI mas modernos. Este se basa en la formación y observación de hologramas contruidos por medio de láser. Se diferencia de una fotografía convencional en que esta proporciona patrones de interferencia que se emplean para reconstruir la imagen; dando imágenes tridimensionales de los piezas y por tanto de las fallas y discontinuidades.

8. DEFORMACIÓN, ENDURECIMIENTO POR TRABAJO Y RECOCIDO

8.1 Relación del trabajo en frío con la curva esfuerzo-deformación

Cuando un material es sometido a un esfuerzo por debajo de su límite elástico se deforma temporalmente, pero cuando la magnitud del esfuerzo sobrepasa su límite elástico tiene lugar la deformación plástica o permanente. Las condiciones con las que un material sufre deformación plástica es una característica muy importante al seleccionar un material (especialmente metales); ya que todos los procesos de manufactura de productos como troquelado, embutido, rolado o laminado y forja (también se le llama **trabajo en frío** porque la temperatura de trabajo y deformado es mucho menor que la de recristalización) se relacionan con su deformación plástica porque el esfuerzo aplicado debe sobrepasar el límite elástico para que el material se deforme permanentemente de una forma útil. También las operaciones de maquinado como torneado, fresado y corte se relacionan con la deformación plástica.

Si de una probeta que ha sido deformada permanentemente con un esfuerzo σ_0 mayor que el esfuerzo de fluencia, se obtiene una muestra del metal y se vuelve a someter al ensayo de tensión el resultado será una curva esfuerzo-deformación diferente; el nuevo límite de fluencia será σ_0 , habría una mayor resistencia a la tensión y una ductilidad menor. Si la operación se repite aplicando un nuevo esfuerzo σ_1 mayor que σ_0 que deforme el metal, el nuevo límite de fluencia sería σ_1 . Podría repetirse la operación hasta que los esfuerzos de fluencia y de tensión máxima sean igual al punto de ruptura. El concepto endurecimiento por deformación se refiere que *“cada vez que se*

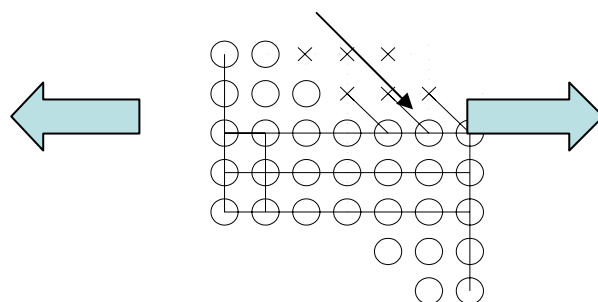
aplica un esfuerzo mayor al limite de fluencia de un metal, el metal deformado tendrá un mayor limite de fluencia y una mayor resistencia a la tensión y una menor ductilidad.”

8.2 Mecanismos de endurecimiento por deformación

Los mecanismo de deformación plástica esta muy relacionada a los defectos lineales y de superficie de un cristal, y tienen mucha importancia cuando se desea mejorar las operaciones de trabajo en frío. La deformación plástica puede ocurrir por:

- a) **Por Deslizamiento:** Al ser sometido a un esfuerzo de tensión superior al límite elástico, un probeta sufre una deformación llamada de **estricción**, que es una notable reducción del diámetro o área transversal acompañado del alargamiento permanente. Este deformación seguirá incrementándose con proporción al esfuerzo aplicado hasta que el material se fracture. A la escala de un monocristal, la deformación es un *escalonamiento* en el orden de las capas de átomos, producidas por el deslizamiento de una sobre otra como naipes en una baraja por el resultado de un esfuerzo cortante. Muchos átomos cambian de posición pero siguen ocupando una vacante.

Figura 7. Deformación por deslizamiento en un sistema cristalino



La figura da una idea de cómo los capas de átomos se deslizan conforme su orientación en el cristal bajo esfuerzo de tensión.

b) **Por maclaje** Este mecanismo de deformación y endurecimiento es muy común en metales h.c.p como cinc y magnesio. El maclaje es un movimiento de planos de átomos dentro de la red, paralelo a un plano específico haciendo que la red se divida en dos partes simétricas pero distintamente orientadas. Una característica que los distingue del mecanismo de deslizamiento es que no forma escalonamiento en la estricción pero si deforma el eje de los planos en el cristal.

8.3 Proceso de deformación

Existen varias técnicas o procesos para deformar y endurecer simultáneamente los metales o aleaciones con fines industriales.

- a) **Laminación** (rolado) Consiste en reducir el área de la sección transversal de una barra o lingote de metal empleando rodillos en rotación. Por este proceso puede moldearse el área transversal del lingote o convertirlo en lamina de de sección uniforme.

- b) **Forja** En este proceso el metal es golpeado o prensado para darle la forma deseada. Puede hacerse con *martillo Industrial* o con *prensa*. Las matrices o mordazas de la prensa sirven de molde para obtener la forma. El proceso de forja se utiliza para obtener formas irregulares que requieran de una estructura interna más fina y resistente que la del moldeado.

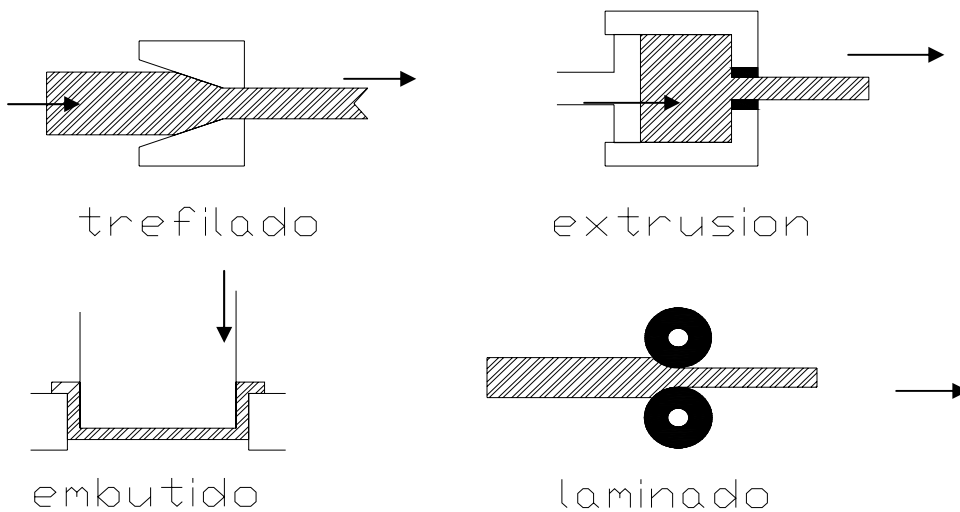
- c) **Trefilado** Es el método usado en la fabricación de alambres metálicos. La varilla o alambre inicial es estirado y adelgazado haciéndolo pasar por una matriz cónica llamada *hilera* o *dado*. Un proceso de trefilado puede constar de uno varios paso por la hilera o dado; en cada paso la sección transversal del alambre es reducida entre un 20 y 25%. Dependiendo de la aplicación y calidad del alambre, este puede ser tratado térmicamente para devolverle al

metal sus propiedades que pudieran perderse con el proceso de trefilado.

- d) **Embutido** Este es un proceso utilizado para transformar laminas de metal en artículos en forma de copa. Se coloca una lámina de metal sobre una matriz moldeada para luego presionar sobre la matriz con un troque.

- e) **Extrusión** Este proceso consiste en que el material calentado y sometido a grandes presiones es forzado a pasar a través de la abertura con forma de una matriz. Es muy usado en materiales fáciles de extruir como cobre, aluminio y polímeros, pero su uso en materiales ferrosos es limitado por su resistencia a la deformación. Por este proceso se producen barras con forma y tubos huecos sin costura.

Figura 8. Proceso de deformación



8.4 Recocido total y sus tres etapas

El recocido es un tratamiento térmico que consiste en calentar un metal y mantenerlo a una temperatura adecuada para luego enfriarlo a una velocidad apropiada. El recocido esta diseñado para reducir la dureza y

esfuerzos residuales causados por trabajo en frío, y devolver al metal sus condiciones originales de ductilidad, sin afectar las propiedades de la pieza terminada. Este proceso tiene tres etapas.

8.4.1 Recuperación

La recuperación es un proceso a baja temperatura donde no ocurre un cambio significativo en la microestructura. Su principal efecto es reducir los esfuerzos residuales internos. La microestructura contiene granos deformados que a su vez contienen una gran cantidad de dislocaciones; cuando elevamos la temperatura del metal moderadamente, las dislocaciones se mueven y reordenan ocurriendo un retroceso de los átomos desplazados elásticamente, esto hace que la mayor parte de la tensión interna se alivie.

8.4.2 Recristalización

Conforme se sobrepasa la temperatura de recuperación, aparecen nuevos cristales con en la microestructura con la misma composición y estructura reticular de los granos originales no deformados. Entonces la recristalización ocurre por el crecimiento de estos nuevos granos (como los del metal no deformado), eliminando la mayoría de dislocaciones. La **Temperatura de recristalización** es la temperatura a la cual el metal altamente trabajado en frío se recristaliza por completo en una hora. Esta depende directamente de la cantidad de trabajo en frío (a mayor cantidad se eleva la temperatura), el tamaño original de grano y la composición del metal (un metal puro recristaliza a menor temperatura que una aleación).

8.4.3 Crecimiento de grano

Conforme se aumente la temperatura la temperatura del recocido la recuperación y la recristalización se darán mas rápidamente, produciendo

una estructura recristalizada de grano fino. Un grano grande tiene menor energía libre que un pequeño, y eso se asocia con la menor cantidad de frontera de grano. Por eso una estructura de grano fino hace inestable a altas temperaturas.

8.5 Trabajo en caliente

Es el proceso de trabajo de un metal (deformación plástica) a temperaturas por encima de la de recristalización. Cuando un material es deformado plásticamente a una temperatura elevada ocurren dos efectos al mismo tiempo: el endurecimiento debido a la deformación plástica y la pérdida de dureza debido a la recristalización, que dependiendo de la cantidad de trabajo (deformación) se anularan o balancearan a una temperatura dada. Al trabajarse un metal a temperaturas superiores a esta se conoce como *trabajo en caliente* y a temperaturas inferiores a esta *trabajo en frío*.

El trabajo en caliente es método más factible y económico para trabajar metales, con la excepción de que los aceros al ser calentados a temperaturas mayores de la de recristalización reaccionan con el oxígeno del ambiente y al enfriarse forman una capa de óxido oscuro llamada **escama**, que muchas veces dificulta el proceso de maquinado. Otra desventaja del trabajo en caliente es la impresión para controlar el tamaño del material debido a los cambios dimensionales sufridos durante el enfriamiento.

9. SOLIDIFICACIÓN Y ALEACIÓN

El concepto de solidificación o cristalización fue descrito anteriormente: es el proceso que sufre un material al pasar del estado líquido al sólido y consta de dos pasos: nucleación y crecimiento del grano. Es de mucha importancia hacer énfasis en el estudio de este proceso industrial.

9.1 Fase cristalina

Se mencionó que en un metal en estado líquido se empiezan a formar pequeños focos de arreglo atómico llamados núcleos cuando la temperatura desciende, a esta etapa ideal se le llama **nucleación homogénea**. El crecimiento del cristal ocurre cuando los átomos del líquido se unen ordenadamente al núcleo ya sólido hasta terminar con el líquido. En un metal en estado líquido, generalmente existen impurezas suspendidas o en la paredes del recipiente, estas impurezas funcionan de núcleo para la formación e granos, a esto se le llama **nucleación heterogénea**. Como es muy caro evitarla y conseguir una nucleación homogénea, todos los metales de tipo industrial forman sus núcleos de esta forma.

Este proceso libera energía en varias etapas, y lo hace en forma de calor. Se sabe que los átomos del metal en estado líquido están en un exagerado movimiento causado por la energía cinética y al pasar a formar parte del cristal los átomos entran a un estado relativamente estático, este cambio de líquido a sólido libera energía conocida como **calor latente de fusión**. Después de haberse formado los núcleos sólidos, el crecimiento de grano depende directamente de la forma con que sea extraído el calor del sistema sólido-líquido. El calor latente de fusión, junto con el calor específico (calor requerido para cambiar un grado la temperatura de una masa unitaria)

deben eliminarse del sistema; el calor específico es extraído del sistema por usualmente por conducción hacia el ambiente o forzado por un refrigerante en contacto con el molde, el calor latente de fusión puede ser eliminado solamente por conducción desde la interficie(estado entre dos fases distintas) líquido- sólido hacia los alrededores sólidos. El mecanismo del crecimiento de grano y la estructura final del sólido dependen de la manera en que sea extraído el calor latente de fusión.

9.2 Constitución de las aleaciones

Una aleación es una sustancia constituida por dos o más elementos químicos de los cuales por lo menos uno es metal. Las aleaciones deben tener propiedades metálicas. Si la aleación es formada por dos elementos es llamada **aleación binaria**; si es formada por tres se denomina **ternaria**, y así sucesivamente pueden formarse un gran número de aleaciones con muchos elementos.

Las aleaciones pueden clasificarse en **homogéneas**, cuando constan de una sola fase y **mezclas** con son una combinación de varias fases. “Una fase es cualquier cosa homogénea y físicamente distinta.” El término fase es sinónimo de *estado* para la mayoría de elementos puros; entonces estos tienen un fase gaseosa, sólida y líquida. Una fase tiene la misma estructura y ordenamiento atómico, así como la misma composición y propiedades.

Un ejemplo sencillo de esto es el combinar agua (una fase) y alcohol (una segunda fase), que al mezclarse producen una sola fase de propiedades y estructura únicas. No importando la cantidad de agua y alcohol que se mezclen se producirá una sola fase. A esto se le llama **solubilidad ilimitada**. Cuando se disuelve completamente sal en agua, se presenta una sola fase: agua salada o salmuera; pero si se continúa añadiendo sal en abundancia, llegará el punto en que el agua no podrá seguir disolviendo la sal y esta se precipitará al fondo. Entonces se tendrán

dos fases: agua saturada de sal y sal sólida; porque la sal tiene una **solubilidad limitada** en el agua.

El níquel y el cobre dos metales que en su fase líquida pueden mezclarse produciendo un solo líquido de composición uniforme; el níquel y el cobre líquidos son dos metales que tienen solubilidad ilimitada.

Una solución cualquiera está compuesta de dos partes: un **solvente** que es la parte más abundante en la solución y un **solute** que es el material disuelto o la parte menor en la solución. El agua es el solvente más común en las soluciones químicas. La cantidad de soluto que un solvente pueda disolver generalmente depende de la temperatura (se incrementa con el incremento de la temperatura). Una **solución sólida** es simplemente una solución en estado sólido que consta de dos clases de átomos combinados en un tipo de red espacial.

9.3 Reglas de Hume-Rothery

En algunos casos puede *no haber solubilidad* entre materiales; como en el caso de agua y aceite, y en metales como cobre y plomo. La relación entre dos elementos que forman una aleación, generalmente satisfacen una o más condiciones (llamadas reglas de solubilidad) planteadas por Hume-Rothery y son:

1. **Factor del tamaño relativo** El tamaño de cada uno de los átomos debe ser similar con no más del 15% de diferencia de radios atómicos. Si la diferencia de radios atómicos es mayor que el 15%, es muy difícil que se de la formación de una solución sólida. Por ejemplo, tanto el plomo como la plata tienen estructura f.c.c y el porcentaje de diferencias de radios atómicos es de 20%. La solubilidad del plomo en la plata sólida es de aproximadamente 1.5% y la de la plata en plomo sólido es del 0.1%.

2. Las estructuras cristalinas de cada de cada elemento deben ser iguales De lo contrario no se logra una solubilidad completa.

3. Los átomos de los metales deben de tener valencias iguales y electronegatividades muy similares.

Los elementos que están cercanos entre si en la tabla periódica cuentan con electronegatividades similares y tienen una mejor compatibilidad que los que están alejados.

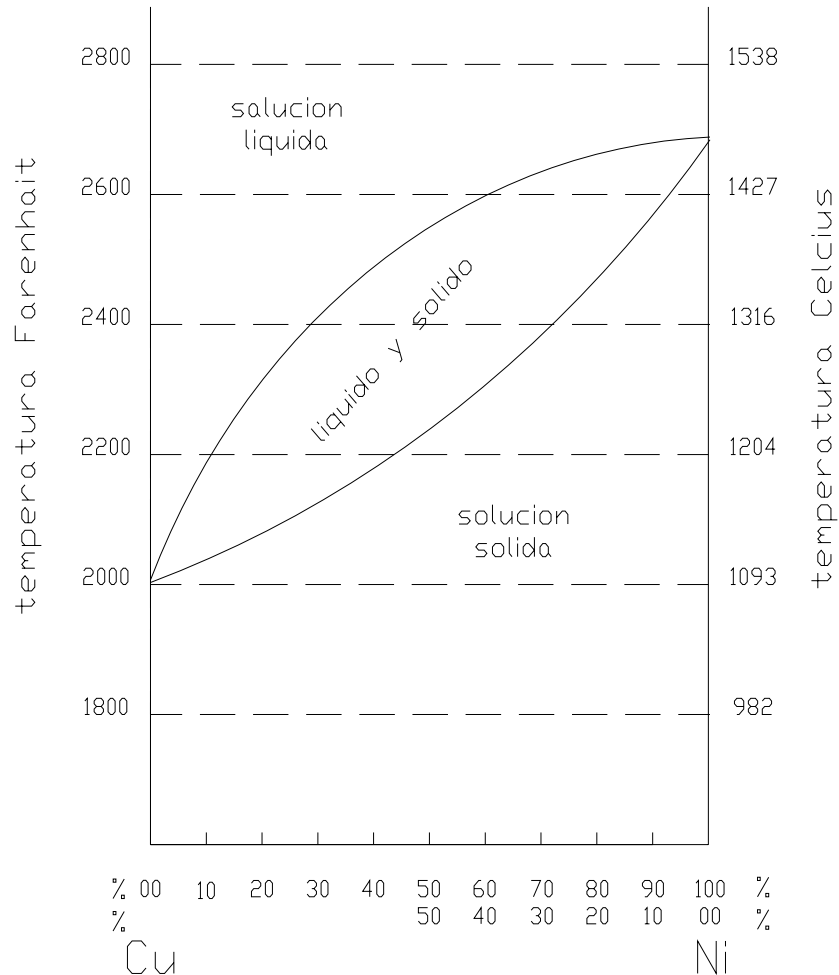
9.4 Solubilidad total

Tomando en cuenta las reglas de solubilidad descritas por W. Hume-Rothery, se concluye que existen elementos con mejor compatibilidad que otros. Tal es el caso de la aleación níquel-cobre que cumplen con las tres reglas anteriores y se encuentran juntos en la tabla periódica. Los radios atómicos son de 1.25 Ångstrom para el Cobre y de 1.24 para el níquel; los dos tienen una estructura FCC y las electronegatividades son 1.8 en los dos elementos.

En este caso la aleación cuenta con una solución sólida única, y se dice que existe *solubilidad total*, donde el cobre y el níquel se fusionan totalmente y formando un nuevo metal homogéneo conocido como constantan (NiCu).

No así, es el caso del acero formado por hierro y carbono, que cuentan con radios atómicos de 1.26 y 0.94 Ångstrom respectivamente, y tienen electronegatividades muy distintas, sin embargo existe cierta solubilidad entre ellos.

Figura 9. Diagrama de solubilidad níquel-cobre



9.5 Diagrama de equilibrio o de fases isomorfo

Un diagrama de fases o de equilibrio es una representación grafica que registra la información sobre los cambios de fase y la composición de una aleación a cualquier temperatura. Este diagrama consta de tres variables: presión, composición y temperatura; tomándose la presión como la atmosférica, una constante, las dos variables independientes restantes nos permiten visualizar un sistema de aleación en una grafica; indicando los cambios estructurales con respecto al cambio de temperatura. Un *diagrama de fase binario* se construye cuando en la aleación están presentes solo dos elementos, y se les llama *isomorfos* a los que representan una sola fase.

Generalmente los diagramas de fase se grafican con el eje de las ordenadas (eje y) como la temperatura, y el eje de las abscisas como la composición de la aleación (como porcentaje en peso). La línea curva superior del diagrama es llamada **línea líquidus**, el área superior a esta línea representa la región de estabilidad de la fase líquida. La línea curva inferior que se junta en los extremos con la línea líquidus se llama **línea solidus**, el área por debajo de esta línea representa la región estable de la fase sólida. La región entre ambas líneas representa una región donde existen dos fases: líquida y sólida. La cantidad de cada fase existente en esta región depende de la temperatura y la composición química de la aleación.

Cuando se quiere tener una referencia sobre la solidificación de una aleación a una temperatura de interés, la temperatura se marca una línea horizontal que atraviese la región de dos fases llamada línea **vínculo** o **isoterma**. La composición de la aleación también se marca con una línea vertical que atraviese la isoterma dividiéndola en dos partes cuyas longitudes son inversamente proporcionales a la cantidad de las fases presentes. La proyección sobre el eje de las abscisas donde la línea vínculo toca las líneas solidus y líquidus, brinda los parámetros necesarios para el cálculo. En la región de doble fase de un diagrama de equilibrio binario se puede calcular el porcentaje de peso de cada fase (líquido y sólido) por medio de la **regla de la palanca**.

10. MATERIALES CERÁMICOS

Los materiales cerámicos pueden clasificarse en dos grupos: materiales cerámicos tradicionales y materiales cerámicos para el uso específico en ingeniería. Los tres componentes básicos que constituyen los cerámicos tradicionales son: arcilla, sílice y feldespato.

Los cerámicos se pueden dividir en: materiales cristalinos simples (naturales y sintéticos) y materiales cerámicos no cristalinos. (Vidrios)

10.1 Estructuras de los materiales cerámicos cristalinos

El tipo de estructura cristalina a formarse en los materiales cerámicos sencillos depende directamente de varios factores como:

- a) **Enlace atómico** El número de átomos que un átomo dado pueda tener cerca de él (alrededor), en la estructura atómica de un cerámico, está determinado por el número de enlaces atómicos. Por ejemplo la sílice cristalina (SiO_2) se encuentra en la naturaleza en estado *cristalino* no vitrificado, pero al fundirse y luego enfriarse, su enlazamiento atómico cambia formando un vidrio (no cristalino) **sílice vítrea**, muy empleado en laboratorios de química y en artículos de cocina por resistir los cambios bruscos de temperatura. En el sílice (SiO_2), el enlace covalente que lo forma requiere que un átomo de silicio tenga 4 átomos de oxígeno equidistantes como vecinos próximos, creando lo que se llama una estructura tetraédrica.

- b) **Radios iónicos** Los sólidos iónicos son formados por aniones y cationes. Los cationes (átomos que seden electrones en un enlace

iónico) por lo general son mas pequeños. La relación de radios iónicos entre el anión y el catión, afecta también el número de átomos. El número de aniones que un catión central tiene alrededor en un compuesto iónico se llama **número de coordinación (NC)**, y es el número de vecinos que un catión tiene alrededor.

- c) **Intersticios** El numero de coordinación de un enlace deber ajustarse a un tipo de estructura cristalina. Por ejemplo en la estructura del cloruro de sodio que es FCC, hay cuatro aniones y cuatro cationes en cada celda unitaria, colocándose los cationes en los vértices de la retícula mientras los aniones se colocan en las caras de esta.

10.2 Imperfecciones en las estructuras cerámicas cristalinas

Los **defectos puntuales en los materiales cerámicos** son los más comunes, predominando los sustitucionales y los intersticiales; aunque en comparación con los metales son mucho menos comunes debido a que los sitios intersticiales esta casi siempre llenos. Este tipo de defectos son usados en materiales para rectificadores de voltaje.

10.3 Materiales cerámicos no cristalinos y sus aplicaciones

Los más importantes de los cerámicos no cristalinos son los **vidrios**. El vidrio bajo ciertas condiciones es considerado un líquido subenfriado. Es un material que durante el proceso de enfriamiento se pone rígido sin cristalizar(los átomos no tienen un ordenamiento definido). Los vidrios tienen muchas propiedades como su transparencia, dureza y resistencia a la corrosión, que los hace indispensables en muchas aplicaciones de ingeniería. Es cada vez mas usado en la construcción, y en otras aplicaciones donde se necesite transparencia como lámparas eléctricas por su propiedad de aislante eléctrico. Difiere de los polímeros (transparentes) por su alto punto de fusión y una mejor resistencia a la corrosión.

Los **vidrios de silicato** son los más usados. Son formados en base a sílice cristalina que es fundida, difiere e los demás cerámicos en que se obtiene por fundición. Por lo común los vidrios de silicato contienen óxidos adicionales actuando como formadores de vidrio. Los óxidos rompen la red de vidrio y son llamados *modificadores de red*. LOs vidrios mas corrientes existentes en el mercado son los vidrios de silicato llamados **sodo-calcicos** que constituyen alrededor del 90% de la producción de vidrio. Tienen una composición de un 71 a 73% de SiO_2 , un 12 a 14% de Na_2O y de 10 a 12% CaO .

Los **vidrios no silicáticos** son producidos a partir de BeF_2 , GeO_2 y algunos fosfatos y también tienen en su mayoría una estructura tetraédrica; con excepciones como el vidrio de Borato (B_2O_3) se forma en una estructura triangular. El borato es muy combinado con la sílice. Materiales como el **pyrex**, muy usado en laboratorios y hornos, son formados de una combinación de B_2O_3 en la sílice.

El vidrio puede ser procesado a nivel industrial de la misma forma que se hacen los metales, se puede fundir, laminar y embutir, pero además se puede soplar.

10.4 Refractarios

Estos materiales por sus propiedades son usados comúnmente en la industria metalúrgica como protección térmica y revestimientos para los hornos y las cucharas. Se emplean en dos modalidades: en forma de ladrillos o monolítica (una sola pieza formada en lugar).

Son considerados refractarios la mayoría de los materiales cerámicos puros de alto punto de fusión; sin embargo, los refractarios de óxido puro son demasiado caros y en su lugar se fabrican refractarios con gruesas

partículas de oxido. Los materiales refractarios a base de oxido se clasifican en dos tipos:

- a) **Refractarios ácidos** La base de estos refractarios es el SiO_2 y el Al_2O_3 , incluyendo a la arcilla refractaria o cerámica de sílice-alúmina. Por ser un buen material refractario, *la sílice pura* es usada para contener metal fundido, aparte de eso tienen alta resistencia mecánica y rigidez. *Los refractarios de arcilla* son una mezcla de barro cocido plástico, arcilla pétreo y arcilla grog. Otro refractario ácido es el *refractario de alta alumina* que tienen del 50 al 99% de alúmina, con temperaturas de fusión por arriba del barro cocido.

- b) **Refractarios básicos** La mayoría de estos refractarios están compuestos de magnesia (MgO), cal (CaO), mineral de cromo, o combinaciones de dos o tres de estos materiales, y son llamados básicos porque su solución en agua es básica. Son más costosos que los refractarios ácidos, sin embargo son indispensables en los hornos metalúrgicos por no reaccionar con el metal.

10.5 Otros materiales cerámicos

Los materiales cerámicos han tenido múltiples aplicaciones en la historia de la humanidad. En esta época también tiene varios usos en la tecnología de punta como las **cerámicas para capacitores**; estos materiales son muy usados como materiales dieléctricos en la fabricación de capacitores y transductores, su principal componente es el titanato de bario (BaTiO_3). También existe el empleo de cerámicos en la fabricación de semiconductores e imanes, fabricados con óxidos de metales.

11. POLÍMEROS

11.1 Definiciones poliméricas: monómero, mero, polímero

Etimológicamente, la palabra polímero viene del griego *polis* que significa muchos y *meros* que significa parte. Se considera como un material polimérico a aquel que contiene muchas partes químicamente enlazadas entre sí como eslabones en una cadena; la unidad más pequeña que se repite en esta cadena es llamada *mero*. Los monómeros (del griego *mono*=uno y *meros* = *parte*) son moléculas simples que se pueden enlazar de modo covalente a la cadena molecular del polímero.

11.2 Tipos de clasificaciones de los polímeros

Los polímeros se pueden clasificar de varias formas, pero para un estudio científico son tres las principales clasificaciones: *Por su estructura*, *Por su mecanismo de polimerización* y *por su comportamiento en presencia de calor*.

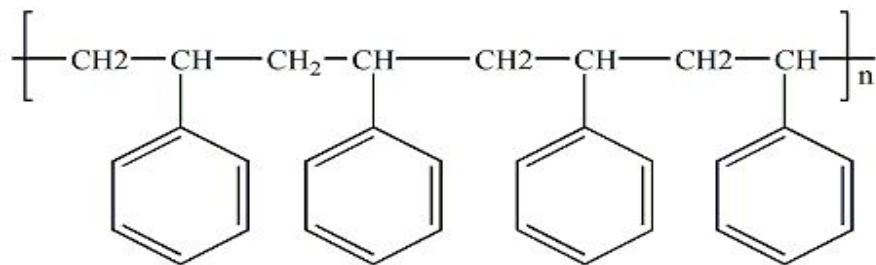
Los polímeros también pueden clasificarse **Por su origen**: Naturales, Sintéticos y semisintéticos. Y **Por su aplicación**: Plásticos, elastómeros, fibras, recubrimientos y adhesivos.

11.2.1 Por su estructura

Los **polímeros lineales** donde se forman largas cadenas conteniendo miles de monómeros. Dichas cadenas son formadas por un mecanismo de polimerización. Los **polímeros de red** son estructuras cristalinas producidas

mediante un proceso de enlaces cruzados, implicando una reacción de adición o condensación.

Si un polímero es formado por un único tipo de monómeros se denomina **homopolímero**, por lo contrario si esta formado por mas de un tipo de monómeros se denomina **copolímero** (generalmente se les llama si, si son sintéticos) o **heteropolímero** (si son naturales) .



Cadena de poliestireno formada a partir del monómero de estireno

Ilustración tomada de enciclopedia electrónica wikipedia

11.2.2 Por su mecanismo de Polimerización

Se le llama polimerización la reacción por la cual se sintetiza los monómeros, dando lugar así a la formación del polímero.

Al unirse covalentemente una indefinida cantidad de moléculas formando cadenas, se producen los **polímeros por adición**, mientras que los **polímeros por condensación** son producidos cuando dos o mas tipos de moléculas se unen por medio de una reacción química liberando un producto colateral, o sea la formación de moléculas de bajo peso molecular, como el agua.

11.2.3 Por su comportamiento en presencia de calor

La forma mas sencilla de de clasificar un material polimérico desconocido es calentarlo. Dependiendo de si el material se funde y fluye, o por lo contrario se destruye.

Como su nombre lo indican los **Termoplásticos** se deforman plásticamente a elevadas temperaturas, proceso por el cual adquieren su forma definitiva para uso industrial. Estos materiales pueden ser recalentados o reconvertidos sin afectar sus propiedades. Por su estructura los polímeros termoplásticos son lineales. Un ejemplo de polímero termoplástico es el polietileno.

Los **polímeros termoestables** son fabricados con una forma permanente y no pueden ser reprocesados después que han sido conformados. Por eso, estos plásticos no se pueden reciclar. Los termoestables son polímeros de red formados por un mecanismo de condensación.

Los **elastómeros** tienen la capacidad de sufrir una gran deformación elástica sin romperse o cambiar permanentemente.

11.3 Aplicaciones de los polímeros

El uso de los polímeros en la industria se ha venido incrementando explosivamente en los últimos años. Por ejemplo, en un automóvil fabricado a finales de los años 50's, se usaron 25 libras de plásticos en su manufactura; en 1980 el uso llegaba a 200 libras por vehículo y en 1990 llegó a 300 libras en promedio. Las aplicaciones de los polímeros en la industria son casi ilimitadas; Entre los polímeros más utilizados en nuestro medio se encuentran:

- a) **Polietileno PE.** Es el polímero sintético más simple químicamente hablando. En todo el año 2005 hubo una producción mundial aproximada de 60 millones de toneladas, lo que lo hace ser el polímero más barato. El polietileno es un material termoplástico blanquecino que comúnmente se fabrica en películas delgadas. Tiene

un punto de fusión entre 110 y 137°C. Es de bajo peso, su gravedad específica es de 0.95 lo que le permite flotar en el agua sin ningún problema.

Existen cinco tipos de polietileno, pero los mas conocidos a nivel industrial son dos: el de **baja densidad PEBD** (en inglés es conocido como LDPE) con una estructura de cadena ramificada, y el polietileno **de alta densidad PEAD** (HDPE) con una estructura de cadena lineal, que tiene una densidad de 0.94 g/cm³ aproximadamente. Los otros tipos de polietileno son: Polietileno lineal de baja densidad PELBD, Polietileno de ultra alto peso molecular UHWP, Polietileno con formación de red PEX.

Este material tiene una excelente flexibilidad a temperaturas extremadamente bajas y es prácticamente inmune a la corrosión. Es inodoro e insípido, además de ser barato. Sus usos más comunes son: Bolsas de supermercado, bolsas para empaque de alimentos, contenedores herméticos domésticos, Para el PEBD; para el PEAD: estructuras pequeñas, tuberías, productos varios como juguetes, artículos de cocina, botellas y envases.

- b) **Cloruro de polivinilo PVC** (del inglés PolyVinyl Chloride). Este material comienza a emblandecerse al ser calentado alrededor de los 80°C y se descompone alrededor de los 140°C. Es muy usado por tener una alta resistencia química y gran compatibilidad con los aditivos. Entre las propiedades del PVC se tienen que es dúctil y tenaz, tiene una resistencia a la tensión de 5000 a 9000 psi, y existe en dos tipos: Rígido y Flexible. El rígido es utilizado especialmente en tuberías y estructuras rígidas, sustituyendo a metales como hierro y aluminio. El flexible tiene un sinnúmero de aplicaciones, desde artículos como juguetes y zapatos, hasta techos tensados como toldos y carpas, pavimentos, blindajes, etc.

- c) **Polipropileno PP.** Este material es producido en base a material petroquímico y su costo es bastante bajo. Este material es derivado del polietileno, es menos flexible pero más fuerte. Tiene una resistencia a la tensión entre 4000 y 6000psi y un punto de fusión entre 165 y 177°C, además cuenta con una muy buena resistencia química contra muchos ácidos, bases, sales y alcoholes. Su gravedad específica es 0.90. Cuando es sometido a temperaturas inferiores a los 6°C tiende significativamente a perder su ductilidad y ganar fragilidad, por ello que no es recomendado para trabajo duro a bajas temperaturas.
- d) **Poliestireno PS.** Es un material plástico transparente, relativamente quebradizo, aunque esta propiedad puede ser modificada con elastómeros o copolimerización para hacerlos mas flexibles y resistentes a los impactos.
- e) **Politereftalato de etileno o Terftalato de polietileno PET.** El PET es un material termoplástico perteneciente al grupo de los Poliésteres (llamados así por ser producidos por monómeros de Esteres, una mezcla de ácido y alcohol). Es obtenido por una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el monoetilenglicol (alcohol).

El PET puede ser conformado por muchos procesos de manufactura ya que tiene muchas aplicaciones. Tiene alta resistencia al desgaste, también alta resistencia química y térmica, y aunque tiene una alta transparencia, recibe muy bien las tinturas y colorantes. El hilo producido con PET conocido como Dacrón, puede ser hilado puro con otras fibras para producir textiles. También es producido en láminas y es usado en la fabricación de envases. En Guatemala, el

agua pura y las bebidas gaseosas son envasadas en PET casi en su totalidad (refiriéndose a envases plásticos).

Figura 11. Envase típico para agua producido con PET



A su izquierda se observa un envase antes de ser conformado por moldeo por soplado

- f) **Polimetacrilato o Metacrilato de polimetilo PMMA** Conocido comercialmente como Plexiglás es el más importante del grupo de los acrílicos. Es un termoplástico rígido y transparente con mayor resistencia a los impactos que el vidrio. Aunque no sustituye al vidrio por completo, si lo ha desplazado en varias aplicaciones. Su punto de fusión es de 160°C mucho mas bajo que el del vidrio, por lo que no es usado en condiciones de alta temperatura, pero su densidad y peso también son mas bajas.
- g) **Poliuretano PUR.** Es un material considerado termoestable, que tiene una gran variedad de presentaciones y aplicaciones. Es empleado como aditivo en la fabricación de pinturas sintéticas, para producir variedades de espumas y esponjas artificiales, y en la producción de textiles como la lycra.
- h) **Poliamida o Nylon PA.** Es un material termoplástico, elaborado a partir la polimerización por condensación de los monómeros de amidas. Este material es altamente utilizado en hilos textiles, también

puede ser moldeado para fabricar objetos como cepillos dentales y peines.

11.4 Aditivos para polímeros

Los aditivos son agregados a la mayoría de polímeros para mejorar sus características y presentación. Los más importantes son:

- a) **Pigmentos.** Son utilizados para producir colores en los plásticos.
- b) **Estabilizantes.** Son agregados para prevenir el deterioro prematuro causado por el medio ambiente. La radiación ultravioleta es uno de los más fuertes degradadores de los polímeros.
- c) **Agentes antiestáticos.** Como la mayoría de los polímeros son malos conductores eléctricos, tienden a generar electricidad estática. Este tipo de aditivo atrae humedad a la superficie del polímero mejorando la conductividad superficial, y evitando el riesgo de una chispa o descarga.
- d) **Retardantes de combustión.** Por ser materiales orgánicos, muchos primeros son altamente inflamables. Los aditivos con cloruros, bromuros o sales de sodio, hacen más difícil la combustión de estos materiales.
- e) **Rellenos.** Estos son agregados con muchos propósitos, en la mayoría de casos sirven como afirmadores de las propiedades mecánicas. Los rellenos llamados extensores como el carbonato de calcio y la sílice, son usados para aumentar el volumen del material con la misma cantidad de resina.

11.5 Procesos de manufactura de los polímeros

Las técnicas utilizadas para procesos de productos industriales poliméricos, dependen principalmente del comportamiento del polímero a altas temperaturas. Un polímero termoplástico generalmente se procesa en estado líquido, con muchos métodos de conformado. Pero los termoestables tienen muy pocos procesos de manufactura por su condición de no deformables después de la polimerización. Lo mismo ocurre con los elastómeros después de la vulcanización. Los procesos más importantes son:

- a) **Extrusión.** El termoplástico es en estado líquido o semilíquido es expulsado a presión a través de una boquilla con forma por un mecanismo de tornillo. Por este proceso se obtienen formas, hojas, tubos y hasta bolsas plásticas.
- b) **Moldeo por soplado.** Por medio de un gas a presión, es inflada una vejiga de polímero caliente llamada *preforma*, que está atrapada en un molde que le da su forma. Este proceso es muy usado para producir botellas plásticas.
- c) **Moldeo por inyección.** El termoplástico es convertido a líquido en su totalidad y forzado a presión dentro de un molde que da su forma.
- d) **Calandrado.** En este proceso el plástico es vertido en un grupo de rodillos giratorios con una pequeña separación, generando una película o lámina.
- e) **Hilado.** En realidad es un proceso de extrusión con orificios de expulsión muy finos (como una regadera). Por este método se produce el poliéster, expandex y otras fibras textiles.

12. COMPUESTOS

Un material compuesto esta constituido de dos o más materiales distintos, unidos con la intención de combinar sus propiedades individuales como dureza, peso y resistencias, a conveniencia en muchas aplicaciones. Esta unión no se da mucho a nivel atómico como en el caso de una aleación, sino a nivel macroestructura ya que los componentes de un material compuesto no son solubles entre si. Por ejemplo un acero al carbón ordinario pudiera ser llamado material compuesto porque contiene ferrita y perlita fácilmente distinguibles con la ayuda de un microscópio.

Los primeros materiales compuestos para uso industrial, comenzaron a surgir durante la Segunda Guerra Mundial. Se trataba de materiales heterogéneos que eran constituidos por una matriz plástica orgánica (polímero) asociada con un refuerzo fibroso, por lo general de vidrio o de carbono

Aunque en muchas ocasiones se clasifican entre los polímeros, las combinaciones de compuestos pueden ser metal-metal. Metal-cerámica, metal-polímero, cerámica-polímero, cerámica-cerámica y polímero-polímero; y se clasifican en tres categorías: por partículas, por fibras y laminares.

La **Regla de las mezclas** en un material compuesto nos sirve para calcular con muy poco rango de error propiedades como esfuerzos y modulo de elasticidad. Por ejemplo la densidad de un compuesto laminado de dos materiales es un promedio de la densidad de los dos materiales individualmente.

12.1 Compuestos por partículas

En este tipo de compuestos las partículas de un material duro y frágil dispersas uniformemente en el material son rodeadas por una matriz (descrito en el punto 2.4 materiales compuestos) más blanda y dúctil. El tamaño y la sustancia de las partículas influyen en gran parte en las propiedades del compuesto. Por eso, este tipo de compuestos se puede subdividir en:

- a) **compuestos endurecidos por dispersión.** En este tipo de compuesto el tamaño de las partículas dispersas por toda la matriz es muy pequeño (relativamente). Para que un material se considere en esta clasificación las partículas deben tener un diámetro entre 100 y 2500 ángstrom. Las partículas pequeñas obstaculizan el movimiento de las dislocaciones en la matriz y esto produce un efecto de endurecimiento en el material.

Un ejemplo de este compuesto es el polvo aluminio sinterizado (llamado también PAS), donde la matriz es el polvo de aluminio que contiene dispersa entre un 9 y 13% de polvo de alúmina, formado a través de un proceso de metalurgia de polvos. (No es una aleación)

- b) **compuestos con partículas.** En estos compuestos el tamaño de las partículas es mucho más grande y no obstaculizan el deslizamiento de la matriz de forma efectiva. Estos compuestos abarcan un gran número de combinaciones de metales, polímeros y cerámicos con la intención de combinar propiedades y no de aumentar la resistencia de un material.

El concreto es un buen ejemplo de este compuesto. Es una matriz de cemento tipo Pórtland que sirve como aglutinante, conteniendo grava y arena como agregado, constituyendo este último entre un 60

y 80 % de la composición total. El concreto a su vez forma un material compuesto junto con el acero, que es lo comúnmente usado en estructuras civiles. El concreto cuenta con buenas resistencias al impacto y a la compresión, mientras que el acero tiene ductilidad y resistencia a la tensión.

12.2 Compuestos por fibras

Estos materiales están reforzados con fibras fuertes y rígidas que ayudan a incrementar la resistencia a los esfuerzos del material matriz dúctil. La orientación y el tamaño de las fibras es muy importante para garantizar un buen desempeño del compuesto; de esto que los compuestos por fibras se subdividan en : a) **de fibras continuas unidireccionales** ordenadas axialmente, b) **fibras discontinuas orientadas al azar** que no tienen orientación ni tamaño específico, c) **fibras ortogonales** formando una especie de red y d) **fibras de capas múltiples**.

Las fibras más usadas en composites cuando se trata de fibras orientadas al azar son por lo general: fibra de vidrio, de carbono o de arámdida.

Un ejemplo de composites de fibras ortogonales es el **panel 3D**(nombre comercial) que es un malla de acero de fibras delgadas, dentro de una matriz de espuma de poliuretano. Es un material que por su resistencia y bajo peso es usado en vehículos como buses y aviones.

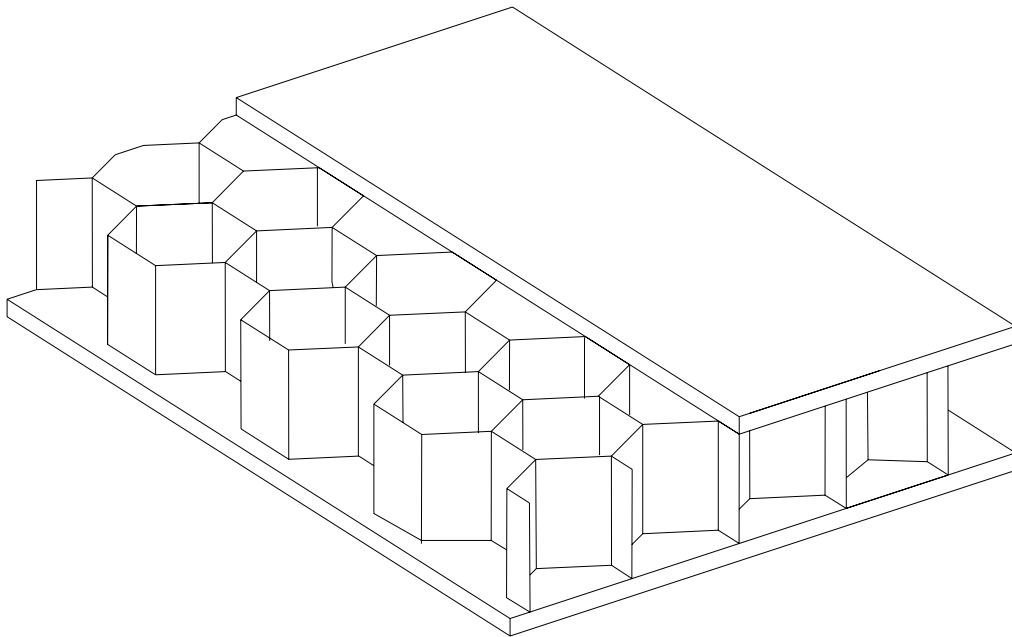
12.3 Compuestos Laminares

Estos materiales compuestos son formados a base de láminas o capas adheridas una sobre otra, un ejemplo sencillo es la madera contrachapada o triplay.

Estos compuestos también incluyen revestimientos finos y superficies protectoras gruesas. La estructura de **tipo emparedado** (o **sándwich**) puede considerarse dentro de este tipo de compuestos; que consiste de un material ligero que sirve de núcleo dentro de dos capas delgadas externas. Un ejemplo práctico es el cartón corrugado, al núcleo de papel corrugado se le adhieren en las dos caras laminas de papel, esta combinación tiene una rigidez que individualmente no tiene el papel.

La **estructura de panel** (otro ejemplo de estructura tipo sándwich) consiste en un panel en forma de panel, adherido a dos laminas, todo fabricado en una aleación de aluminio. Proporciona alta resistencia, rigidez, un peso más liviano y menor empleo de material. Es el principal material en la construcción de aviones y vehículos espaciales.

Figura 12. Celdas tipo panel



13. CORROSIÓN Y DESGASTE

Aunque la corrosión es un campo netamente de la ciencia de los materiales, es un tema muy extenso que debe ser estudiado detenidamente e individualmente de este curso; y dada la importancia para la ingeniería de este tema, debe de estudiarse apoyándose en estudios sólidos de física y química.

Se conoce como corrosión al deterioro o destrucción de un material causada por reacción con el medio ambiente. Todos los ambientes que pueda tener un material son corrosivos en pequeña o gran medida, ya que los efectos de corrosión y degradación son inevitables; aunque si pueden ser reducidos en gran manera. Aunque la corrosión es un fenómeno que afecta a todos los materiales (polímeros, cerámicos y metales), esta es mas notable y acelerada en los metales. La corrosión es considerada de alguna forma el proceso inverso de la metalurgia extractiva.

13.1 Corrosión química

También llamado proceso de disolución directa, porque el material se disuelve directamente en un líquido corrosivo hasta consumirse por completo el material o el líquido corrosivo quede saturado; como es el caso de los polímeros en los solventes o el acero en ácido sulfúrico .Pero también la corrosión puede darse de un metal liquido a uno sólido.

13.2 Corrosión electroquímica

La mayoría de las reacciones de corrosión en la naturaleza son de tipo electroquímico. En un metal este proceso electroquímico se puede

considerar como una transformación de un metal del estado metálico al iónico; requiere del flujo eléctrico entre cierras áreas de la superficie de un metal, a lo que se le llama **celda electroquímica**. Una celda electroquímica se forma cuando dos superficies de un mismo metal polarizado por una diferencia de potencial, se ponen en contacto a través de un fluido que sirva de conductor. Este circuito eléctrico completado permite la *corrosión electroquímica* como la *electrodeposición*.

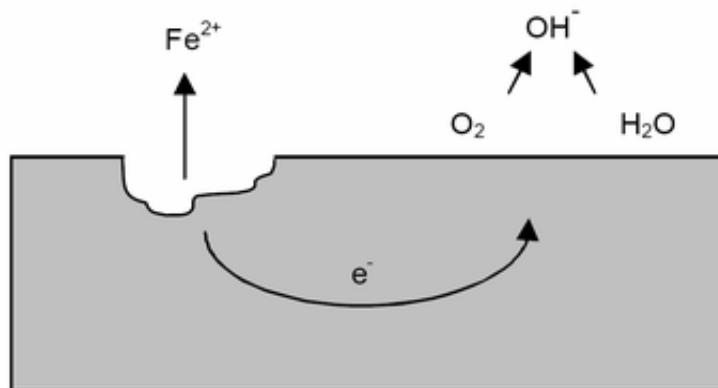
13.2.1 Componentes de una celda electroquímica

Los cuatro componentes básicos de una celda electroquímica son:

- a) **ánodo**. Es la parte de metal que cede los electrones al circuito y se corroe.
- b) **Cátodo**. Es la parte de metal que recibe los electrones del circuito. La electrodeposición es el subproducto que se junta en el cátodo al juntarse los electrones con los iones. Los elementos anteriores se forman al polarizarse eléctricamente el metal
- c) **Contacto físico**. Para que los electrones fluyan del ánodo al cátodo, deben estar conectados eléctricamente por un contacto físico.
- d) **Electrolito**. Es el fluido conductor que debe estar en contacto con el ánodo y el cátodo. Este fluido proporciona un vehículo por el cual los iones metálicos emigran del ánodo al cátodo.

El factor más importante que influye en la corrosión es la diferencia de potencial eléctrico entre los metales cuando están acoplados y sumergidos en un electrolito. El aire atmosférico puede muy bien funcionar como electrolito, cuando esto ocurre al proceso se le llama oxidación.

Figura 13. Esquema de oxidación del hierro



Tomado de enciclopedia electrónica wikipedia

13.3 Tipos específicos de Corrosión

Recientemente se han descubierto nuevas causantes de corrosión en metales, que son considerados tipos de corrosión, tal es el caso de la corrosión **Microbiológica**, causada por microorganismos o bacterias existentes en el agua, que usan el hidrogeno presente en el liquido en su desarrollo metabólico, generando así un voltaje en el medio circundante. Aunque fenómeno ha sido asociado a las picaduras por concentración de oxigeno, se considera un tipo distinto de corrosión.

Algunas de las formas de corrosión electroquímica más comunes son:

13.3.1 Corrosión galvánica

Este tipo de ataque es producido por la celda galvánica, cuando ciertas áreas actúan siempre como ánodos y otras áreas siempre como cátodos. Este tipo de corrosión es prácticamente la corrosión electroquímica simple, pero ocurre cuando dos metales diferentes actúan entre si, uno como ánodo y el otro como cátodo. Se debe tomar en cuenta al unir dos metales distintos, porque la diferencia de electronegatividades puede conducir a corrosión.

13.3.2 Corrosión por celda de concentración de oxígeno

Este tipo de corrosión se debe a la celda por concentración; que son celdas que se desarrollan debido a mayor presencia de oxígeno en algunas partes del metal.

Una celda por *concentración de oxígeno* ocurre cuando una parte de un metal es puesto en un ambiente de bajo oxígeno como ánodo, y la otra parte en un ambiente de alto oxígeno que funciona como cátodo. Una tubería de metal llena de agua es un buen ejemplo: el interior expuesto al agua funciona como ánodo y el exterior expuesto al aire atmosférico es el cátodo.

La concentración de oxígeno también se puede formar en una tubería debido a burbujas de oxígeno (aire) existente en el fluido debido a factores como Presión y temperatura. Por eso este tipo de corrosión es muy común en tuberías de agua a presión y equipos como calderas, teniendo una forma peculiar de degradar el metal conocida como **picadura** o pitting.

13.3.3 Corrosión por cavitación

Este tipo de corrosión se produce debido al choque de burbujas y cavidades dentro de un líquido. El choque que produce el fluido deslizándose sobre la superficie del metal, produce altos esfuerzos de impacto que poco a poco van eliminando partículas de superficie, formando con el tiempo agujeros de tamaño considerable, depresiones y marcas de viruela (numerosos agujeros pequeños y profundos). Este tipo de corrosión no ocurre por acción galvánica.

13.3.4 Corrosión por esfuerzo

La corrosión por esfuerzo se da cuando un metal está sometido a diferentes esfuerzos locales. Se origina por la combinación de efectos de

tensiones intensas corrosión simple. Las regiones del metal más esforzadas sirven como ánodos con respecto a las áreas catódicas que son las menos esforzadas. También las regiones que tienen un tamaño de grano fino, son anódicas con respecto a regiones de grano más grueso del mismo material, que funcionan de cátodo.

13.3.5 Corrosión por concentración de trabajo en frío

Se sabe que cuando un material es trabajado en frío se producen esfuerzos residuales internos que deben ser anulados por medio del tratamiento térmico. En muchas ocasiones este tratamiento térmico (recosido) no puede ser aplicado después de trabajar el metal; produciéndose así corrosión por concentración de esfuerzo. Por ejemplo, cuando un pedazo de tubo es doblado (a temperatura ambiente), el área en el dobles, sometida a esfuerzos de tensión y compresión se convierte en un ánodo con el resto del tubo y se corroe.

13.4 Métodos para disminuir la corrosión

La corrosión es un problema que provoca altas pérdidas económicas en la industria. Se emplean muchos métodos para evitar la corrosión. El mejor método es el que se diseña junto con la estructura metálica tomando en cuenta todos los factores del entorno, evitando la improvisación. Los métodos más comunes son:

- a) **Protección catódica.** Este método se basa en suministrar electrones de una fuente externa al metal, forzándolo a ser un cátodo. Los electrones se pueden suministrar de dos formas: voltaje inducido y ánodo de sacrificio.

El **ánodo de sacrificio** es una pieza de un metal distinto que se une o sujeta al metal a proteger, con la intención de formar un circuito

electroquímico. El ánodo de sacrificio es el que sede los electrones, corroyéndose así y evitando que se lo haga el metal protegido. Los ánodos galvánicos más frecuentemente utilizados par proteger el acero son: Aluminio, magnesio y cinc. El aluminio y el cinc son muy usados en protección de estructuras sumergidas en agua de mar o en el suelo; es muy usado para proteger tuberías subterráneas y vehículos marinos; debe ser remplazado cuando se consume, el aluminio es mas barato pero tiende a consumirse más rápidamente.

En sistemas de ánodos galvánicos enterrados suelen utilizarse **rellenos** para mejorar la eficiencia de operación. Son productos cerámicos fabricados a partir de yeso y bentonita, que rodean al ánodo para que este pueda desgastarse de una forma uniforme al protegerlo de humedad y elementos degradantes existentes en el suelo. Uno de los más comunes es el relleno Backfill.

El **voltaje inducido**, se obtiene de una fuente de corriente directa o corriente alterna debidamente rectificadas, pero la corriente debe ser continua y regulable, conectada entre un ánodo auxiliar que puede ser cualquier desecho metálico o chatarra y el metal que se pretende proteger. A pesar del consumo de energía, de su elevado costo de instalación y que pudiera causar interferencias electrónicas (muy notables en torres de telecomunicaciones); este tipo de protección presenta ventajas sobre el ánodo de sacrificio al tener voltaje y amperaje variables, brindando mayor protección según sean las condiciones.

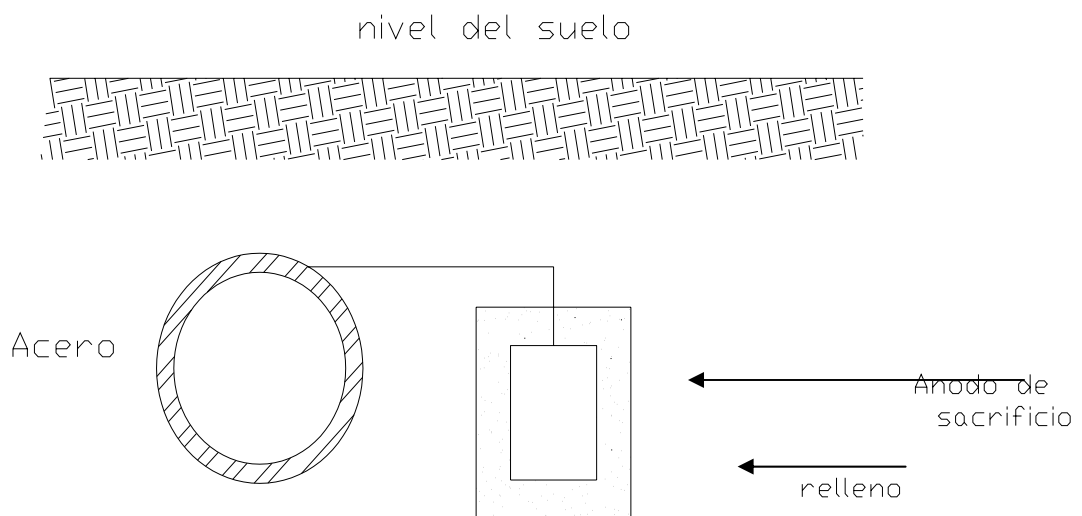
Cuando se protege un metal enterrado con voltaje inducido en terrenos que tienen resistividad elevada, la chatarra de hierro es muy usada como ánodo, ya que el resultado es un consumo relativamente económico promedio de 9 Kg/Am*Año. Regularmente es cubierta con un relleno de carbón coque.

Tabla I. Corriente necesaria para proteger el acero.

| Medio ambiente | Densidad de corriente A m ⁻² |
|---------------------------------|--|
| Lodos salinos | 0.025 - 0.5 |
| agua de mar | 0.05 - 0.15 |
| soluciones salinas concentradas | 0.3 - 10 |
| soluciones ácidas concentradas | 350 - 500 |

Otros materiales que pueden ser utilizados como ánodos en la protección por voltaje inducido son: el grafito y el ferrosilicio usados en terrenos de resistividad media y el titanio-platinado usado en agua de mar.

Figura 14. Protección por ánodo de sacrificio



- b) **Selección adecuada de los materiales a la hora del diseño.** La forma básica de proteger un metal contra la corrosión, es no exponiéndolo a condiciones para las cuales no ha sido preparado. Al seleccionarse los materiales para un diseño de ingeniería donde se quiera evitar la corrosión, se debe consultar bibliografía y fuentes de

información que ayuden a seleccionar el material apropiado de acuerdo con las condiciones al que el material será sometido.

Por ejemplo, Para condiciones donde ni existe oxígeno o no oxidantes como ácidos y líquidos libres de aire, es muy común utilizar aleaciones de níquel y cromo; en cambio, para condiciones oxidantes se utilizan aleaciones con cromo. Los aceros inoxidable contienen un porcentaje suficiente de cromo en sus aleaciones, dependiendo de las distintas aplicaciones a que serán sometidos. Por ejemplo el acero al cromo tipo **442** con 20% de cromo resulta más resistente a la oxidación que el tipo **430** con 17% de Cr, pero obviamente el precio es más elevado.

- c) **Revestimientos.** Los revestimientos o recubrimientos son películas utilizadas para aislar las regiones catódicas de las anódicas. Estas abarcan pinturas y otros revestimientos orgánicos, películas de óxido y de sal, y revestimientos metálicos. Los revestimientos metálicos pueden obtenerse por varios métodos, como el metalizado, electrodeposición, difusión, enlazamiento y uno de los más comunes y efectivos: el revestimiento por inmersión en un baño de metal fundido como estaño y el galvanizado (baño de cinc).

Una ventaja del galvanizado sobre el baño de estaño es que cuando se raya este revestimiento y el acero se expone, el cinc continúa siendo eficaz ya que es anódico en relación con el acero, haciendo que la capa de cinc se consuma lentamente. Mientras que con el estaño ocurre todo lo contrario, el acero es anódico con respecto al estaño, haciendo que el acero se corra rápidamente.

- d) **Inhibidores.** Estos son agentes químicos que al ser añadidos a la solución corrosiva (o el electrolito), reducen considerablemente los efectos corrosivos. Por ejemplo en los radiadores de automóviles se

usan sales de cromo para reprimir la formación de la celda electroquímica.

13.5 Desgaste

El desgaste es del deterioro o degradación de un material mediante ataque puramente mecánico causado por un cuerpo sólido o un fluido en contacto con su superficie. Es por ello que la calidad de muchos productos, especialmente metálicos, depende de cómo se de el deterioro de su superficie debido al uso.

La separación o desprendimiento de las partículas de una superficie se puede producir por contacto con:

- a) Otra superficie, cuando esto sucede se conoce como **Desgaste adhesivo**, que también es llamado rayado, ludimiento o agarre. Ocurre cuando dos superficies sólidas se deslizan o se frotan una con la otra bajo presión. La fricción producida por las asperezas (muchas veces microscópicas) de las superficies causara el desgaste.
- b) Partículas duras, Es llamado **Desgaste Abrasivo**. Es causado cuando las partículas de una material duro, ruedan bajo presión a través de la superficie de un material más suave. Las partículas del material duro suelen penetrar y raspar al material más suave.
- c) Fluidos moviéndose a velocidades considerables, llamado **Erosión**. Esta se da de dos maneras:
La **cavitación**, que es causada por burbujas de un gas disuelto en un líquido, cuando este se precipita a alta presión; es muy común en bombas hidráulicas y propulsores.

La **pulverización con gotas de líquido** contrario al anterior, ocurre cuando un gas precipitado contiene gotas de algún líquido que chocan con las paredes del material, desgastándolo.

13.6 Factores que influyen en el desgaste.

El desgaste de una superficie depende esencialmente de su grado de dureza. Sin embargo la fricción entre los cuerpos, es el principal influyente en el desgaste. Y esta depende directamente de: a) La presión o la fuerza normal a las superficies en contacto. b) grado de rugosidad de las superficies en contacto. c) No depende de la velocidad de deslizamiento. (La fricción no depende de la velocidad, no así el nivel de desgaste).

13.7 Protección contra el desgaste.

Existen varias formas de proteger una maquina o herramienta contra el desgaste; por ejemplo, una protección contra el desgaste adhesivo es una buena lubricación, donde se pretende que una película de lubricante separe las dos superficies en deslizamiento.

Cuando la lubricación no resulta factible, la protección contra el desgaste en los metales se basa principalmente en los revestimientos que reducen la rugosidad y los tratamientos térmicos que aumentan la dureza en las superficies de las piezas y herramientas. La selección de materiales es un factor fundamental cuando se diseñan elementos o herramientas que estarán en condiciones de desgaste, la martensita revenida por debajo de los 235°C mejor conocida como la martensita de alto carbono, cuenta con la mejor resistencia al desgaste en las estructuras de los aceros.

CONCLUSIONES

1. Tomando como referencia básica la bibliografía y los textos más populares a nivel de ingeniería mecánica en la Universidad de San Carlos de Guatemala, se elaboro este documento que sintetiza los fundamentos principales (ya que es un curso con amplio contenido) del curso de Ciencia de los materiales, que es impartido por la Escuela de Ingeniería Mecánica.
2. A través de la recopilación de los conceptos más relevantes en los diferentes libros de texto, se ha hecho el presente trabajo de graduación con la intención de que el estudiante cuente con información más clara, actualizada y aplicable al medio de la industria nacional; con el fin de que pueda serle de apoyo para el estudio del curso.
3. Este documento será presentado al estudiante de forma electrónica, para que sea de fácil acceso.

RECOMENDACIONES

1. Al estudiante: Para un estudio mas profundo y especifico de los temas que abarca la ciencia de los materiales, es necesario que el estudiante se apoye en conocimientos sólidos de física y química; ya que estas son las ciencias donde se fundamentan temas como: corrosión, procesos de polimerización, cristalografía, entre otros.
2. Siendo la ciencia de los materiales un curso que abarca un amplio contenido, y habiéndose mencionado la importancia de su estudio en la formación de un ingeniero orientado a proyectos y manufactura; el estudiante debe examinar de una forma mas minuciosa y detallada los temas específicos de su interés.

BIBLIOGRAFIA

1. Askeland, Donald R., **La ciencia e ingeniería de los materiales.** Edición en español: Grupo Editorial Iberoamérica, 1987. 556pp.
2. Avner, Sydney H., **Introducción a la metalurgia física.** 2da. Edición. Editorial: McGraw –Hill/Interamericana de México, 1988.695pp.
3. Flinn, Richard A.; Trojan, Paul K. **Materiales de ingeniería y sus aplicaciones.** 3ra. Edición. Editorial:McGraw–Hill/Interamericana de México,1992 742pp.
4. Guy. A.G., **Fundamentos de ciencia de materiales.** Editorial: McGraw –Hill. 1980.423pp.
5. Smith, William F., **Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.** 2da. Edición Editorial: McGraw-Hill/Interamericana de España.1993. 936pp.
6. **Enciclopedia electrónica Wikipedia**
www.es.wikipedia.org