ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNOLOGOS

ELABORACIÓN DE UN MANUAL PARA LA SELECCIÓN Y CONTROL DE MATERIALES

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN PROCESOS DE PRODUCIÓN MECÁNICA

SOLA MARCILLO ALEXIS ROLANDO

alexisrolando@hotmail.com

DIRECTOR: ING. DIEGO ESPINOSA

espinosadie@gmail.com

QUITO, MARZO DEL 2009

DECLARACIÓN

Yo, Alexis Rolando Sola Marcillo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____

Alexis R. Sola. M.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alexis Rolando Sola Marcillo, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Diego Espinosa

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser el ente gestor de mi superación y culminación en mi tarea profesional; a las personas que con sus conocimientos y experiencias, han sabido impartir en mí la enseñanza necesaria para la ejecución de un trabajo, entre ellos puedo destacar: Ing. Diego Espinosa, Ing. Patricio Estupiñán, Ing. Willan Monar, Dr. Víctor Guerrero, Ing. Mario Pástor "ESPOCH".

DEDICATORIA

El trabajo inmerso en el sacrificio, se ve reflejado en el momento de saborear un triunfo anhelado por toda la época universitaria; esfuerzo que debo principalmente al todo poderoso, por darme el don de la sabiduría, entendimiento y perseverancia, para de esta manera dedicar a mis padres, mis hermanos, mi esposa y mis suegros, quienes me enseñaron el verdadero sentido de la superación personal y profesional, legando una herencia invaluable que entrego en este proyecto a la razón de mi vivir y existir como es mi hija Nadya Alexandra.

ÌNDICE

CONTENIDO **Pág.**

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES……..1
1.1. Propiedades de los materiales……..1
1.1.1. Propiedades físicas……1
1.1.1.1. Propiedades generales……...1
1.1.1.2. Propiedades eléctricas……..…….2
1.1.1.3. Propiedades térmicas……..4
1.1.1.4. Propiedades magnéticas……5
1.1.1.5. Propiedades ópticas……7
1.1.1.6. Propiedades químicas……..……...10
1.1.1.7. Propiedades mecánicas……12
1.2. Ensayos……..18
1.2.1. Ensayos de metales y aleaciones……..19
1.2.2. Clasificación de los ensayos……....20
1.2.2.1. Según la rigurosidad del ensayo……....20
1.2.2.2. Según la naturaleza del ensayo……..20
1.2.2.3. Según la utilidad de la pieza después de ser sometida al ensayo……22
1.2.2.4. Según la velocidad de aplicación de los esfuerzos……..22
1.3. Diagramas……..23
1.3.1. Diagramas de equilibrio de fases……..23
1.3.2. Diagrama hierro-carbono……23
1.3.2.1. Microestructuras de los aceros……25
1.3.3. Diagramas TTT……..25
1.4. Clasificación de los materiales……...32
1.4.1. Materiales ferrosos……32
1.4.1.1. Fundiciones……32
1.4.1.1. Aceros……..35
1.4.2. Materiales no ferrosos……..62

1.4.2.1. Cobre y sus aleaciones……62
1.4.2.2. Aluminio y sus aleaciones……65
1.4.2.3. Magnesio y sus aleaciones……..66
1.4.2.4. Titanio y sus aleaciones……66
1.4.2.5. Metales Refractarios……67
1.4.3. Materiales Cerámicos……67
1.4.3.1. Vidrios……68
1.4.3.2. Refractarios……69
1.4.3.3. Productos de arcilla……...71
1.4.3.4. Cerámicas eléctricas y magnéticas……71
1.4.3.5. Materiales Pirocerámicos……72
1.4.3.6. Esmaltes y Vidriados……72
1.4.3.7. Escorias y fundentes……73
1.4.4. Materiales Poliméricos……73
1.4.4.1. Plásticos……..73
1.4.5. Materiales Compuestos……79
1.4.5.1. Clasificación de los materiales compuestos……..79
1.4.5.2. Descripción de cada tipo de material compuesto……80
1.5. Tratamientos térmicos……84
1.5.1. Clasificación de los tratamientos térmicos……84
1.6. Tratamientos termoquímicos……..85
1.6.1. Clasificación de los tratamientos termoquímicos……85

CAPÍTULO II

2. PREÁMBULO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES EN EL ECUADOR……86
2.1. Tendencias del desarrollo de la tecnología y ciencia de los materiales a nivel mundial……86
2.1.1. Líneas de investigación en el área de materiales a nivel mundial……91
2.2. Tendencias del desarrollo de la tecnología y ciencia e industria de los materiales en el ecuador……92
2.2.1. Análisis del desarrollo industrial en los sectores principales……93
2.3. Sector cerámico……96

2.3.1. Desarrollo industrial……..96
2.3.1.1. Tipos de industrias cerámicas en el ecuador……96
2.3.1.2. Procedencias de materias primas……...99
2.3.2. Problemas y limitaciones……..102
2.3.3. Desarrollo investigativo……..103
2.4. Sector metalúrgico……104
2.4.1. Desarrollo industrial……104
2.4.2. Desarrollo investigativo……..106
2.5. Sector de polímeros……...107
2.5.1. Desarrollo industrial……107
2.5.2. Problemas y limitaciones……...108
2.5.3. Desarrollo investigativo……..109
2.6. Nuevos materiales……..111
2.6.1. Desarrollo industrial……113
2.6.2. Problemas y limitaciones……...114
2.6.3. Desarrollo investigativo……..115
2.6.3.1. Materiales Compuestos de matriz polimérica con fibras artificiales y vegetales. ……..116
2.6.3.2. Materiales Compuestos de matriz cerámica y fibra vegetales. fibro-cemento utilizado en las construcciones civiles……..…….116

CAPÍTULO III

3. NORMAS PARA MATERIALES……117
3.1. Normas UNS……119
3.1.1. Designación para aleaciones de cobre……...121
3.2. Normas AISI-SAE……...123
3.2.1. Aceros y sus aleaciones……123
3.2.2. Aceros HSLA……...126
3.2.3. Aceros para herramientas……..127
3.2.4. Aceros inoxidables……..127
3.3. Normas ASTM……128
3.3.1. Clasificación de los documentos ASTM……..130

3.3.2. Designación para fundiciones……..131
3.3.3. Designación para aceros al carbono y HSLA de calidad estructural……..132
3.3.4. Designación para aceros para herramientas……..133
3.3.5. Designación para magnesio y aleaciones al magnesio……134
3.3.5.1. Para metales aleados……134
3.3.5.2. Para metales no aleados……136
3.3.6. Designación para los polímeros y elastómeros……136
3.3.7. Materiales cerámicos y compuestos……138
3.4. The Aluminum Association……138
3.4.1. Designación de temple……..139
3.5. Normas JIS……..141
3.6. Normas INEN……..141
3.7. Normas DIN……142
3.7.1. Hierros y aceros……..142
3.8. Código ASME BPV……145
3.9. Normas ANSI……..148

CAPÍTULO IV

4. SELECCIÓN DE MATERIALES……149
4.1. Tipos y propiedades de clases comunes de materiales……..151
4.1.1. Factores que intervienen en la selección de materiales……..155
4.1.1.1. Factores físicos……155
4.1.1.2. Factores mecánicos……156
4.1.1.3. Factores de facilidad de procesamiento……..156
4.1.1.4. Factores de ciclo de vida de los componentes……..157
4.1.1.5. Factores de costos y disponibilidad……..158
4.1.1.6. Factores de códigos de materiales y legales……..158
4.2. Sistematización del proceso de selección de materiales……159
4.2.1. Índice de desempeño [M]……..161
4.2.1.1. Derivación de los índices de desempeño……162
4.2.1.2. Índice de desempeño considerando la forma……..167
4.2.2. Mapas de propiedades……..168

4.2.2.1. Aplicación de los índices de desempeño en los mapas de propiedades……169
4.2.3. Descripción de la herramienta informática CES……180
4.3. Criterios de selección y aplicaciones……183
4.3.1. Criterios de selección por cada clase de material……183
4.3.1.1. Aceros de bajo carbono……183
4.3.1.2. Aceros de medio carbono……184
4.3.1.3. Aceros de alto carbono……185
4.3.1.4. Aceros HSLA……185
4.3.1.5. Aceros aleados……186
4.3.1.6. Aceros inoxidables……187
4.3.1.7. Aceros para herramientas……190
4.3.1.8. Fundiciones……191
4.3.1.9. Aluminio y sus aleaciones……193
4.3.1.10. Cobre y sus aleaciones……194
4.3.1.11. Magnesio y sus aleaciones……197
4.3.1.12. Titanio y sus aleaciones……198
4.3.1.13. Níquel y sus aleaciones……198
4.3.1.14. Plomo, estaño y sus aleaciones……198
4.3.1.15. Zinc y sus aleaciones……199
4.3.1.16. Metales preciosos……199
4.3.1.17. Materiales cerámicos……199
4.3.1.18. Materiales polímeros……200
4.3.1.19. Materiales compuestos……202
4.3.2. Aplicación por cada clase de material……202
4.4. Ejercicios prácticos para la selección de materiales utilizando el programa CES……211
4.4.1. Selección de materiales para rompeolas de autotanques que transportan combustibles líquidos……211
4.4.1.1. Requerimientos e índice de desempeño……212
4.4.1.2. Desarrollo y análisis de resultados……213
4.4.2. Selección de materiales para estructura primaria de un soporte de una turbina de un avión……217

4.4.2.1. Requerimientos e Índice de Desempeño……217
4.4.2.2. Desarrollo y análisis de Resultados……218

CAPÍTULO V

5. INFORMES TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE MATERIALES……..221
5.1. Ensayos mecánicos y pruebas metalográficos para el control de materiales……221
5.1.1. Análisis metalográfico……221
5.1.1.1. Objetivos……...221
5.1.1.2. Desarrollo teórico de la prueba……..221
5.1.1.3. Materiales y equipos……...224
5.1.1.4. Procedimiento de la prueba……...225
5.1.1.5. Resultados del análisis metalográfico……..225
5.1.2. Ensayo de dureza……...228
5.1.2.1. Objetivos……...228
5.1.2.2. Desarrollo teórico de la prueba……..228
5.1.2.3. Materiales y equipos……...229
5.1.2.4. Procedimiento de la prueba……...230
5.1.2.5. Resultados del ensayo de dureza Rockwell……230
5.1.3. Ensayo de impacto Charpy……...231
5.1.3.1. Objetivos…..……231
5.1.3.2. Desarrollo teórico de la prueba……..231
5.1.3.3. Materiales y equipos……...233
5.1.3.4. Procedimiento de la prueba……...233
5.1.3.5. Resultados del ensayo de impacto Charpy……234
5.1.4. Ensayo de tracción……..235
5.1.4.1. Objetivos……...235
5.1.4.2. Desarrollo teórico de la prueba……..235
5.1.4.3. Materiales y equipos……...238
5.1.4.4. Procedimiento de la prueba para materiales metálicos……238
5.1.4.5. Procedimiento de la prueba para fundición gris……239

5.1.4.6. Análisis de resultados del ensayo de tracción en los materiales metálicos…….....240
5.1.4.7. Análisis de resultados del ensayo de tracción de la fundición gris……..246
5.1.5. Ensayo de impacto para vidrio de seguridad……247
5.15.1. Especificaciones técnicas según Norma INEN 1669 para espesores de vidrios entre 3.5-6.5mm…….247
5.1.5.2. Resultados obtenidos del ensayo de impacto para vidrio de seguridad……247
5.1.6. Ensayo de doblado……248
5.1.6.1. Requerimientos según código ASME Sección IX……..248
5.1.6.2. Resultados obtenidos del ensayo de doblado……249
5.1.7. Ensayo de tracción para madera (tablero contrachapado)……..250
5.1.7.1. Resultados obtenidos del ensayo de tracción para madera……250

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……..251
6.1. Conclusiones……...251
6.2. Recomendaciones……252
6.3. Referencias Bibliográficas……253

ANEXO A

ÍNDICE FIGURAS

CONTENIDO **Pág.**

CAPÍTULO I

Fig. 1.1. Campo Magnético……6
Fig. 1.2. Curvas Esfuerzo-Deformación de Varios Materiales……..13
Fig. 1.3. Diagrama de fases hierro-carburo de hierro……24
Fig. 1.4. Microestructura del acero al carbono, cristales blancos de ferrita…….25
Fig. 1.5. Microestructura del acero 1%C, red blanca de cementita……..26
Fig. 1.6. Microestructura del acero al carbono, cristales oscuros de perlita…….27
Fig. 1.7. Microestructura de la austenita……28
Fig. 1.8. Microestructura de la martensita……29
Fig. 1.9. Diagrama TTT de un acero 0.90%C y constituyentes microscópicos….31
Fig. 1.10. Fundición gris……..33
Fig. 1.11. Fundición nodular……34
Fig. 1.12. Fundición Blanca……34
Fig. 1.13. Fundición Maleable……35
Fig. 1.14. Relaciones de composición y propiedades de los aceros inoxidables..50
Fig. 1.15. Familia de los aceros inoxidables ferríticos……52
Fig. 1.16. Familia de los aceros inoxidables austeníticos……..53
Fig. 1.17. Familia de los aceros inoxidables martensíticos……55
Fig. 1.18. Micrografía óptica del compuesto reforzado con fibras de vidrio 1000X……..82

CAPÍTULO II

Fig. 2.1. Variación de Establecimientos General……94
Fig. 2.2. Variación de Establecimientos en Sector Manufacturero……...94
Fig. 2.3. Variación de Establecimientos en Sector Minero……94
Fig. 2.4. Porcentajes de producción y valor agregado, en el sector de manufacturera, según divisiones CIIU en el 2006……..95

Fig. 2.5 Porcentajes de producción y valor agregado, en el sector de minería, según divisiones CIIU en el 2006……..95
Fig. 2.6. Industrias Cerámicas por Provincia……97
Fig. 2.7. Potencial No-Metálicos……..100

CAPÍTULO IV

Fig. 4.1. Tipos de Materiales……149
Fig. 4.2. Menú de los Materiales de Ingeniería……..151
Fig. 4.3. Ciclo de Vida de los Materiales de Ingeniería……157
Fig. 4.4. Tipo de Cargas……163
Fig. 4.5. Sección-Carga Expuesta-Aplicación……167
Fig. 4.6. Mapa de Propiedad del Módulo de elasticidad-Densidad……171
Fig. 4.7. Mapa de Propiedad del Esfuerzo-Densidad……...172
Fig. 4.8. Mapa de Propiedad del Módulo de elasticidad-Esfuerzo……172
Fig. 4.9. Mapa de Propiedad del Módulo Específico-Esfuerzo Específico…….173
Fig. 4.10. Mapa de Propiedad del Tenacidad a la Fractura-Módulo de Young…173
Fig. 4.11. Mapa de Propiedad del Tenacidad a la Fractura-Esfuerzo……174
Fig. 4.12. Mapa de Propiedad de la Coeficiente de Pérdida-Modulo de Young..174
Fig. 4.13. Mapa de Propiedad del Coeficiente de Expansión Térmica-Conductividad Térmica……..175
Fig. 4.14. Mapa de Propiedad del Esfuerzo-Máximo servicio de Temperatura…175
Fig. 4.15. Mapa de Propiedad de Módulo de elasticidad-Costo Relativo por unidad de volumen……..176
Fig. 4.16. Mapa de Propiedad del Esfuerzo-Costo Relativo por unidad de volumen……176
Fig. 4.17. Mapa de Propiedad de la Conductividad Térmica-Difusividad Térmica……177
Fig. 4.18. Mapa de Propiedad del Módulo de elasticidad……177
Fig. 4.19. Mapa de Propiedad de Constante Rata de Deterioro-Dureza……..178
Fig. 4.20. Mapa de Propiedad de Resistencia a la Corrosión-Máximo Servicio de Temperatura……178
Fig. 4.21. Mapa de Propiedad de Resistencia al Ataque Atmosférico……...179

Fig. 4.22. Mapa de Propiedad de Tenacidad a la fractura-Densidad……179
Fig. 4.23. Esquema de datos CES……..181
Fig. 4.24. Diagrama de Herramientas CES……181
Fig. 4.25. Diagrama de Materiales CES……182
Fig. 4.26. Entorno CES……182
Fig. 4.27. Autotanque de transportación de GLP AGIP Ecuador……211
Fig. 4.28. Esquema de cargas en rompeolas……212
Fig. 4.29. Mapa de propiedad de esfuerzo de fluencia-densidad, Rompeolas….213
Fig. 4.30. Ilustración línea guía ubicado en Acero SAE1010, Rompeolas……214
Fig. 4.31. Mapa esfuerzo de fluencia-costo por unidad de volumen, Rompeolas……..215
Fig. 4.32. Mapa esfuerzo de fluencia-densidad, Rompeolas……..215
Fig. 4.33. Boeing 787……217
Fig. 4.34. Mapa Límite de elasticidad-Densidad, Soporte……...219
Fig. 4.35. Cuadro de ingreso de propiedades CES, soporte……...219

CAPÍTULO V

Fig. 5.1. Desbastadora de disco……..222
Fig. 5.2. Equipo de desbaste fino……222
Fig. 5.3. Equipo para pulido de disco……..223
Fig. 5.4. Probetas atacadas químicamente……223
Fig. 5.5. Microscopio para Metalografía……..224
Fig. 5.6. Duraluminio……..226
Fig. 5.7. Fundición Gris……..226
Fig. 5.8. Acero SAE1030……...227
Fig. 5.9. Acero SAE4340……...227
Fig. 5.10. Durómetro Rockwell……229
Fig. 5.11. Muestras Ensayadas……231
Fig. 5.12. Probeta de Fundición Gris……...232
Fig. 5.13. Equipo y herramienta para ensayo de Impacto……...233
Fig. 5.14. Probetas Ensayadas por Impacto de Duraluminio……..234
Fig. 5.15. Probetas Ensayadas por Impacto de Acero SAE1030……..234

Fig. 5.16. Probetas Ensayadas por Impacto de Fundición Gris……..235
Fig. 5.17. Probetas Ensayadas por Impacto de Acero SAE4340……...235
Fig. 5.18. Probetas para el ensayo de Tracción de Materiales Metálicos…….236
Fig. 5.19. Máquina para Ensayo de Tracción y Herramientas……237
Fig. 5.20. Probeta para Ensayo de Tracción de Fundición Gris……237
Fig. 5.21. Curva Esfuerzo vs Deformación Duraluminio-Probeta Nº1……241
Fig. 5.22. Curva Esfuerzo vs Deformación Duraluminio-Probeta Nº2……241
Fig. 5.23. Curva Esfuerzo vs Deformación Duraluminio-Probeta Nº3……242
Fig. 5.24. Probeta Ensayada por tracción de Duraluminio……..242
Fig. 5.25. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 4340-Probeta Nº1……...243
Fig. 5.26. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 4340-Probeta Nº2……...243
Fig. 5.27. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 4340-Probeta Nº3……...244
Fig. 5.28. Probeta Ensayada por tracción de Acero SAE 4340……..244
Fig. 5.29. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 1030-Probeta Nº1……...245
Fig. 5.30. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 1030-Probeta Nº2……...245
Fig. 5.31. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 1030-Probeta Nº3……...246
Fig. 5.32. Probeta Ensayada por tracción de Acero SAE 1030……..246
Fig. 5.33. Probeta Ensayada por tracción de Fundición Gris……..247
Fig. 5.34. Vidrios de seguridad realizados el ensayo de impacto con esfera de acero……248
Fig. 5.35. Probeta realizada el ensayo de impacto……...249
Fig. 5.36. Equipo para Ensayo de Doblado……249
Fig. 5.37. Probetas realizadas el ensayo de tracción para madera……..250

ÍNDICE TABLAS

CONTENIDO **Pág.**

CAPÍTULO I

Tabla 1.1. Clasificación general de los aceros de acuerdo con el proceso de fabricación……..36
Tabla 1.2. Clasificación de los aceros al carbono atendiendo su punto eutectoide..……37
Tabla 1.3. Acción de los Principales Elementos de Aleación de los Aceros……...42
Tabla 1.4. Clasificación de los aceros inoxidables……51
Tabla 1.5. Clasificación de los aceros aleados atendiendo su contenido de elementos de aleación……58
Tabla 1.6. Clases de Vidrios……...68
Tabla 1.7. Tipos de cauchos sintéticos……78

CAPÍTULO II

Tabla 2.1. Manufactura y Minería Serie Histórica 2000-2005……...93
Tabla 2.2. Número y porcentaje e Industrias Cerámicas de acuerdo al Tipo…… 98
Tabla 2.3. Nombres de las Industrias de Cerámica Blanca y Roja con los productos que manufacturan ……98
Tabla 2.4. Número de minas por tipo de material……99
Tabla 2.5. Nombre de las industrias cerámicas que han realizado por lo menos alguna importación de minerales no metálicos desde 1990 hasta el 2000……..101
Tabla 2.6. Número de establecimientos por actividad en el sector metalúrgico.....105
Tabla 2.7. Número de establecimientos por actividad en el sector polímeros……108
Tabla 2.8. Número de establecimientos por actividad en el sector de nuevos materiales……114

CAPÍTULO III

Tabla 3.1. Designación de normas por país……..118
Tabla 3.2. Series primarias de números……119
Tabla 3.3. Secundaria División de algunas series de números……..120
Tabla 3.4. Designación UNS dos últimos dígitos……...121
Tabla 3.5. Designación UNS dos últimos dígitos……...122
Tabla 3.6. Designación de temple para aleaciones de cobre……123
Tabla 3.7. Designación de aceros al carbono según normas SAE……124
Tabla 3.8. Designación de aceros aleados según normas SAE……125
Tabla 3.9. Designación de aceros especiales según normas SAE……125
Tabla 3.10. Composición de algunos aceros HSLA……..126
Tabla 3.11. Clasificación acero para herramientas según norma AISI……..127
Tabla 3.12. Designación de aceros inoxidables según normas SAE……127
Tabla 3.13. Siglas añadidas a la designación de aceros inoxidables……128
Tabla 3.14. Designación según norma ASTM……...129
Tabla 3.15. Volúmenes de las normas ASTM……131
Tabla 3.16. Normas ASTM para fundiciones……132
Tabla 3.17. Especificaciones de la ASTM para aceros al carbono y HSLA de grado estructural……133
Tabla 3.18. Letras que representan los elementos de aleación para el magnesio……..135
Tabla 3.19. Algunos elastómeros de uso generalizado según norma ASTM D2000……...137
Tabla 3.20. Sistema de designación para aluminio conformado y sus aleaciones……139
Tabla 3.21. Sistema de designación para fundiciones de aluminio y sus aleaciones……139
Tabla 3.22. Designaciones de temple para el aluminio……140
Tabla 3.23. Denominación para aceros sin alear según normas DIN……142
Tabla 3.24. Denominación de aceros aleados según normas DIN……143
Tabla 3.25. Denominación para fundiciones sin alear según normas DIN……..143
Tabla 3.26. Denominación para fundiciones aleadas según normas DIN……144
Tabla 3.27. Otros símbolos para designar normas DIN……..144

Tabla 3.28. Clasificación de la Sección VII DIV1 del código ASME……..147

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1. Clasificación y Características de los Materiales……152
Tabla 4.2. Principales Clases de Materiales……..153
Tabla 4.3. Principales Propiedades de los Materiales……..154
Tabla 4.4. Propiedades combinadas para maximizar los índices de desempeño……166
Tabla 4.5. Propiedades mecánicas de algunos aceros al bajo carbono……...184
Tabla 4.6. Propiedades mecánicas de algunos aceros de medio y bajo C……..185
Tabla 4.7. Propiedades mecánicas de algunos aceros HSLA……186
Tabla 4.8. Propiedades mecánicas de algunos aceros aleados……186
Tabla 4.9. Propiedades mecánicas de algunos aceros inoxidables……..187
Tabla 4.10. Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables……..189
Tabla 4.11. Cuadro de selección de aceros para herramienta –grados……190
Tabla 4.12. Propiedades mecánicas de algunos aceros inoxidables……192
Tabla 4.13. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio…….193
Tabla 4.14. Aleaciones de cobre forjadas de color controlado……194
Tabla 4.15. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de cobre……..197
Tabla 4.16. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de magnesio……..197
Tabla 4.17. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de titanio……198
Tabla 4.18. Módulos de rotura (resistencia a la flexión) y módulos de elasticidad para ocho materias cerámicos comunes……199
Tabla 4.19. Dureza Knoop aproximada (carga = 100g) de siete materiales cerámicos……200
Tabla 4.20. Propiedades mecánicas a temperatura ambiente de los polímeros más comunes……..201
Tabla 4.21. Propiedades mecánicas de algunos elastómeros……201
Tabla 4.22. Aplicaciones comunes de los metales ferrosos y sus aleaciones….203
Tabla 4.24. Aplicaciones más comunes de los grados ferríticos……205
Tabla 4.25. Aplicaciones más comunes de los grados austeníticos……206

Tabla 4.26. Aplicaciones más comunes de los grados martensíticos……207
Tabla 4.27. Aplicaciones comunes de los metales no ferrosos y sus aleaciones……208
Tabla 4.28. Aplicaciones comunes de los polímeros……209
Tabla 4.29. Aplicaciones comunes de los materiales cerámicos, compuestos y naturales……210
Tabla 4.30. Requerimientos para rompeolas……212
Tabla 4.31. Propiedades de los materiales resultantes, Rompeolas……216
Tabla 4.32. Datos obtenidos de la turbina del avión Boeing 787……217
Tabla 4.33. Requerimientos para estructura-soporte avión……218
Tabla 4.34. Propiedades de los materiales resultantes, Soporte……220

CAPÍTULO V

Tabla 5.1. Reactivos usados en la prueba……225
Tabla 5.2. Análisis de Resultados de la prueba metalográfica……226
Tabla 5.3. Escala de dureza Rockwell……228
Tabla 5.4. Análisis de Resultados del Ensayo de Dureza……230
Tabla 5.5. Análisis de Resultados del Ensayo de Impacto……234
Tabla 5.6. Ejemplo para el Duraluminio, Probeta Nº1……240
Tabla 5.7. Resumen de Resultados Duraluminio……241
Tabla 5.8. Resumen de Resultados Acero SAE 4340 ……242
Tabla 5.9. Resumen de Resultados Duraluminio……244
Tabla 5.10. Resumen de Resultados Fundición Gris……246
Tabla 5.11. Calificación de las Probetas de Fundición Gris……247
Tabla 5.12. Resultados obtenidos del ensayo de impacto para vidrio de seguridad……248
Tabla 5.13. Resultados obtenidos del ensayo de doblado……249
Tabla 5.14. Resultados obtenidos del ensayo de tracción para madera……250

ANEXO A

Tabla A.1. Propiedades Mecánicas Según de Designación AISI-SAE
Tabla A.2. Propiedades de los materiales

Tabla A.3. Resistencia Ambiental de los Materiales
Tabla A.4. Rigidez - Límite de diseño en masa mínima
Tabla A.5. Esfuerzo - Límite de diseño en masa mínima
Tabla A.6. Esfuerzo - Límite de diseño: muelle, bisagra, etc., para mayor potencia
Tabla A.7. Vibración - Límite de diseño
Tabla A.8. Averías Tolerantes – Diseño
Tabla B.6. Diseño Electro – mecánico
Tabla A.9.Diseño térmico y termo – mecánico

RESUMEN

El conceptualizar las propiedades de los materiales, permiten una organización en tres aspectos fundamentales: Físico (Generales, Eléctricas, Térmicas, Magnéticas y Ópticas), Químico y Mecánico, que ayudan a caracterizar cada una de las clases de materiales, obtenidas por diferentes pruebas ó ensayos, clasificado de acuerdo algunos aspectos como: rigurosidad del ensayo, naturaleza del ensayo, utilidad de la pieza después de ser sometida el ensayo y según la velocidad de aplicación de los esfuerzos.

Investigando las tendencias actuales en el desarrollo de la tecnología de materiales, en cuanto a este aspecto se menciona, tanto a nivel mundial como en el Ecuador; cabe mencionar que el uso de materiales se encuentra vinculado a la producción Nacional Industrial contemporánea, con la demanda de un desarrollo del producto, enfocado a la determinación de materiales con propiedades, procedimientos singulares, que se acoplan al éxito económico de los países.

La selección de materiales se lo realiza bajo algunos parámetros fundamentales como el diseño, costo y ambiental, explicados posteriormente, regidas bajo las normas de materiales de diferentes entes rectores del mundo, considerando las propiedades, aplicaciones comunes, disminución de la masa y costo. Dando lugar a la aparición de paquetes informáticos que facilitan la elección de un material de forma óptima y rápida, como el programa CES ó algunas páginas utilitarias; iniciando por una clasificación previa de los materiales como son: Metálicos, Cerámicos, Polímeros, Compuestos y Naturales, conceptualizando y reclasificando cada una de ellos.

El control de materiales se lo realiza por medio de ensayos o pruebas que determinan el rendimiento de un material bajo ciertos parámetros de carga, los mismos que encuentran enmarcados por normas que determinan la ejecución de un proceso del ensayo en particular.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la importancia del conocimiento de los materiales existentes en el país; hace posible una competitividad a gran escala, puesto que cada segmento de nuestra vida cotidiana está influido en mayor o menor grado por los materiales; cada actividad realizada por el ser humano se encuentra vinculada por el medio en el que se comunica, transporta, reacciona y alimenta; variando, a medida que el desarrollo y la evolución humana se incrementa, en donde cada uno de sus integrantes se encuentran en la capacidad para producir y conformar materiales necesarios para satisfacer sus necesidades.

Primitivamente se conoce que el hombre utilizaba herramientas rudimentarias descubriendo materiales ajenos a su conocimiento, que le hacían posible su estándar habitual de vida, como por ejemplo la piedra como herramienta de casa.

A medida que avanza la evolución, conjuntamente al tiempo el hombre va descubriendo aspectos que se convierten en técnicas que le permiten producir materiales e incluso con propiedades superiores a las de los naturales; de esta manera se hace la aparición del proceso de tratamiento térmico o por adición de otras substancias que aumentan sus propiedades mecánicas.

De acuerdo a investigaciones realizadas a nivel mundial, se ha llegado a comprobar la existencia de más de 65.000 materiales; debido a la excesiva cantidad de materiales el proceso de selección tiene un alto grado de complejidad, convirtiéndola en una gran ingeniería de materiales; ya que es indispensable tener un gran conocimiento tanto de las propiedades de cada material como los costos de estos; en base a las características determinar el material más idóneo para una aplicación en particular.

Los científicos en las últimas décadas han desarrollado decenas de miles de materiales distintos con características muy especiales para satisfacer las necesidades de nuestra moderna y compleja sociedad; se trata de metales, plásticos, vidrios y fibras.

Dentro de la Selección de Materiales el progreso de muchas tecnologías, van asociados a la disponibilidad de los materiales; en donde el avance en la compresión de un tipo de material suele ser el precursor del progreso de una tecnología. Por ejemplo, la fabricación de automóviles en tiempos antiguos, tenían altos costos de material y manufactura, por lo que, era un bien de lujo, en la actualidad el acceso a estos es posible gracias a las investigaciones realizadas que denotan la aparición de un acero idóneo y barato o de algún sustituto comparable.

Si bien se conoce, gran parte de los materiales que utilizamos proceden de fuentes no renovables; no son capaces de regenerarse. Entre ellos se encuentran los polímeros, cuya principal fuente es el petróleo, y algunos metales. Estas fuentes no renovables se empobrecen paulatinamente, por lo que es necesario descubrir nuevas reservas o desarrollar nuevos materiales con propiedades comparables y con menos impacto medioambiental.

En nuestro país, el ir superando el subdesarrollo en el que se halla inmerso, pasa necesariamente por el impulso a la investigación científica tanto básica como aplicada.

Actualmente los recursos destinados con este fin son completamente exiguos, la información sobre los desarrollos tecnológicos y los avances científicos es dramáticamente escasa.

El objetivo de este proyecto es dar un aporte al conocimiento de un sector básico y estratégico a ser desarrollado: los materiales de uso en ingeniería. Hoy no podemos hablar de un solo material que nos distinga sino de varios de ellos, estamos en la era de los Nuevos Materiales, todas estas consideraciones determinan que existan nuevos conceptos básicos a ser estudiados y comprendidos.

El país cuenta con abundantes recursos materiales, pero éstos deben ser caracterizados adecuadamente para darles un uso óptimo.

Por tanto, este proyecto se encamina a dar a conocer los principios fundamentales que se aplica para seleccionar un material adecuado y dar un control del mismo utilizando herramientas tecnológicas que hoy en día han facilitado el proceso de selección.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES

1.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades son características que identifican a un material, las cuales se pueden organizar dentro de tres aspectos fundamentales: Físico, Químico y Mecánico. Es así entonces que podemos hablar de Propiedades Físicas, Propiedades Químicas y Propiedades Mecánicas de los materiales. A continuación se va solamente a mencionar las propiedades que van a describir en la práctica cada material.

1.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Son aquellas propiedades que pueden ser determinadas sin causar cambios en la identidad de la materia.

El comportamiento físico de los materiales se encuentra descrito por una gran variedad de propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas y térmicas. La mayoría de estas propiedades está determinada por la estructura atómica, el ordenamiento atómico y la estructura cristalina del material.

1.1.1.1. Propiedades Generales

Estas propiedades se encuentran habitualmente en un material, una de ellas es el precio que puede variar según los procesos desde su extracción hasta su elaboración para un bien útil y según la inflación de la economía de un país.

1.1.1.1.1. Densidad [ρ]

La densidad (masa específica) de un cuerpo homogéneo, se define como la relación entre la masa m de un cuerpo y su volumen específico v

$$\rho = \frac{m}{V}$$

1.1.1.1.2. Precio [$\subset_m$]

El precio es el costo por unidad de masa, es decir, la relación entre el precio específico y su masa m.

$$\subset_m = \frac{\mathrm{Pr}\, ecio}{m} = \frac{\$}{kg}$$

1.1.1.2. Propiedades Eléctricas

Las propiedades eléctricas miden la respuesta del material cuando se le aplica un campo eléctrico. Entre las propiedades eléctricas se encuentran la conductividad eléctrica, resistencia eléctrica, etc.

1.1.1.2.1. Resistividad [ρ]

La resistencia eléctrica es el grado de oposición a que circule cargas eléctricas o a la corriente eléctrica. La resistencia eléctrica depende de la geometría del material (es independiente de la geometría) y está dada por la ecuación:

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{L}{\sigma A}$$

Donde ρ es la resistividad; σ la conductividad; A el área de sección transversal, *L la longitud del conductor, y* $\sigma = \frac{1}{\rho}$.[1]

1.1.1.2.2. Conductividad [σ]

La conductividad eléctrica refleja el movimiento de un portador de carga en un campo eléctrico, ó es la medida de la facilidad con que la corriente pasa a través de una unidad de volumen y la unidad es $1/(\Omega m)$. El portador de carga más destacado es el electrón. Estos electrones "libres" están en constante movimiento dentro del material metálico y, en ausencia de un campo eléctrico, su movimiento aleatorio no produce un flujo neto de electrones. La intensidad del campo es:

$$E = \frac{V}{L}$$

Donde *V* es la diferencia de potencial en volts y *L* es la longitud del alambre. Decimos también que la dirección de movimiento de los electrones es opuesta a la de E, y decimos que el flujo neto de electrones establece una corriente eléctrica, I. Si se incrementa la diferencia de potencial, V, I aumenta, y si la corriente aumenta de manera lineal con la diferencia de potencial, entonces se dice que el material obedece la ley de Ohm, a saber:

$$V = IR$$

Donde V está dada en volts, I en amperes y R es la resistencia del material en ohms.[2]

[1] MANGONON Pat; Ciencia de Materiales Selección y Diseño; México: Pearson Educación; 2001; 1ª ed.; p. 89
[2] MANGONON Pat; Op. Cit. ; p. 90

1.1.1.3. Propiedades Térmicas

Las propiedades térmicas miden la respuesta cuando se le aplica una cantidad de calor. Entre las propiedades térmicas podremos mencionar algunas muy importantes como son: punto de fusión, calor latente de fusión, punto de ebullición y calor latente de vaporización.

1.1.1.3.1. Punto de fusión [T_m]

Es la temperatura a la cual los cuerpos sólidos se liquidan o a la que estando líquidos se solidifican[3].

1.1.1.3.2. Calor latente de fusión [CLF]

Es el número de calorías necesarias para hacer pasar 1kg de un cuerpo del estado sólido al líquido, a temperatura y presión constante; al solidificarse el líquido desprende la misma cantidad de calor absorbida.[4]

1.1.1.3.3. Calor latente de vaporización [CLV]

Es el número de calorías necesarias para hacer pasar 1kg de un cuerpo del estado líquido al gaseoso, a temperatura y presión constante; al liquidarse el vapor desprende la misma cantidad de calor absorbida.[5]

1.1.1.3.4. Conductividad Térmica [λ]

Se puede definir como la cantidad de calor que se puede conducir por unidad de tiempo, a través de una unidad de área en un determinado material, cuando el gradiente de temperatura en el elemento conductor de calor es la unidad.

---

[3] LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Madrid: Thomson; 2005; 13ª ed.; p. 68
[4] LARBURU Nicolás; Op. Cit.; p. 68
[5] Ibíd.;p. 68

1.1.1.3.5. Capacidad Calorífica [C_p]

Es la cantidad de energía necesaria para aumentar en 1º la temperatura de un kilogramo de un material.

$$Calor\ Específico = \frac{Capacidad\ Calorífica}{Masa\ Atómica}$$

$$Unidad: \left[\frac{Cal}{g^{o}K}\right]$$

1.1.1.3.6. Coeficiente de Dilatación Térmica [α]

Es una propiedad de cada material en donde tiene su propio comportamiento de vibración de los átomos y cambio de distancias interatómicas.

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T$$

1.1.1.3.7. Difusividad Térmica [β]

Es la rapidez o velocidad con que varía la temperatura de un material frente a una solicitud térmica.

$$\beta = \frac{k}{\rho C} \qquad \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

1.1.1.4. Propiedades Magnéticas

Las propiedades magnéticas de un material representan la interacción de la estructura la microestructura atómicas con el campo magnético; esto permite producir imanes permanentes y electroimanes.

1.1.1.4.1. Magnetismo [μ]

El magnetismo es el fenómeno por medio del cual los materiales ejercen fuerzas de tracción o de repulsión sobre otros materiales; por cuanto, muchos de los modernos dependen del magnetismo y de materiales magnéticos, generadores eléctricos, transformadores, radios, TV, teléfonos, etc. Las fuerzas magnéticas se generan cuando se mueven partículas cargadas eléctricamente.

Las propiedades magnéticas macroscópicas de los materiales son producto de los momentos magnéticos asociados con los electrones individuales.

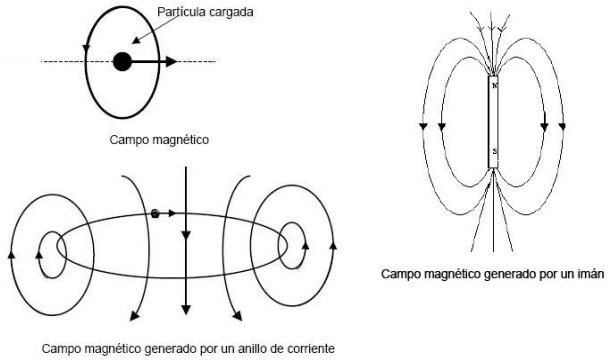


Fig. 1.1. Campo Magnético

Fuente: *http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/tema21.pdf*

Un momento magnético es la efectividad del campo magnético asociado a un electrón; cada electrón en un átomo tiene dos momentos magnéticos. Este momento, llamado *magnetón de Bohr,* es:

$$Magnetón\ de\ Bohr = \frac{qh}{4\pi m_e} = 9.27\,x10^{-24}\ A \cdot m^2$$

Cuando el electrón gira alrededor del núcleo se convierte en una carga eléctrica en movimiento, por lo que se genera un momento magnético y cada electrón gira alrededor de si mismo creando también un momento magnético.

El momento magnético neto de un átomo es la suma de los momentos magnéticos generados por los electrones. Si incluyen los momentos orbitales, de rotación, y el hecho que los momentos pueden cancelarse.

En los átomos donde los niveles de energía de los electrones están completamente llenos, todos los momentos se cancelan. Estos materiales no pueden ser magnetizados permanentemente. (Gases inertes y algunos materiales iónicos).[6]

1.1.1.4.2. Magnetismo Remanente [B_r]

El magnetismo con que queda el material una vez que se retira el campo magnético que lo produjo.

1.1.1.4.3. Fuerza Coercitiva [H_c]

Es la intensidad de campo magnético necesaria para reducir a cero el magnetismo residual.

1.1.1.4.4. Permeabilidad magnética[μ]

La actitud que tiene los materiales para la magnetización.

1.1.1.5. Propiedades Ópticas[7]

Son aquellas propiedades que regulan la emisión, transmisión, reflexión y refracción de la luz (es una onda electromagnética $0.40 < \lambda < 0.70 um$) y las que se relacionan con la interacción entre un material y las radiaciones electromagnéticas.

[6] http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/tema21.pdf
[7] ASKELAND Donald; La Ciencia e Ingeniería de los Materiales; México: Editorial Iberoamérica; 1985; p. 448 - 451.

1.1.1.5.1. Emisión de radiación continua y característica

La energía radiante, o radiación en forma de ondas o partículas llamadas *fotones*, puede ser emitida desde un material. Las características importantes de los fotones, su energía E, longitud de onda λ, y su frecuencia v, se relacionan mediante la ecuación:

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde c es la velocidad de la luz $(3x10^{10}\ cm/s)$ y h es la constante de Blanck $(6.62x10^{-27}\ erg \cdot s,\ o\ bien\ 6.62x10^{-34}\ J \cdot s)$. Esta ecuación permite considerar al fotón tanto como una partícula de energía *E* o como una onda con longitud de onda y frecuencia característica.

- **Espectro continuo.-** Un elemento excitador, como por ejemplo un electrón, es desacelerado cuando choca con un material. Cuando se desacelera esta partícula, se libera energía en forma de fotones. Cada vez que el electrón choca con un átomo cede energía. Cada interacción, sin embargo, puede ser más o menos severa, de modo que los electrones liberan una fracción diferente de su energía cada vez, produciendo fotones de distinta longitud de onda. Entonces se produce e*spectro continuo o radiación blanca*.

- **Espectro característico.-** Si el estímulo entrante tiene energía suficiente, un electrón de un nivel interno de energía es excitado y llevado aun nivel de energía exterior. Para restablecer el equilibrio, el nivel vacío interior se ocupa con electrones de un nivel más alto.

  Hay diferentes discretas de energía entre cualesquiera dos niveles de energía. Cuando un electrón cae de uno a otro nivel, se emite un fotón que tiene esa energía y esa longitud de onda en particular. Los fotones con tales energías y longitudes de onda constituyen el *espectro característico y son rayos X.* El

espectro característico aparece como una serie de picos superpuestos en el espectro continuo.

1.1.1.5.2. *Luminiscencia*

Es el proceso mediante el cual una sustancia absorbe energía y luego la emite como una radiación visible (luz). Según la fuente de excitación se dividen en:

- **Fotoluminiscencia.-** La fuente de excitación es la luz
  - ***Fluorescencia.-*** Si la emisión ocurre dentro de 10^{-8} segundos después de la excitación.
  - ***Fosforescencia.-*** Si la emisión ocurre después de transcurridos 10^{-8} segundos (deja de actuar la fuente de excitación)

- **Catoluminiscencia.-** La fuente de excitación es un haz de electrones.
- **Radioluminiscencia.**- La fuente de excitación es los rayos x, rayos δ, etc.
- **Quimioluminiscencia.-** La fuente de excitación es una reacción química.
- **Electroluminiscencia.**- Fuente de excitación es la energía eléctrica.

1.1.1.5.3. *Refracción*

Es el cambio de dirección que se produce en los fotones que transmiten en un material, debido a la pérdida de energía.

$$n = \frac{c}{v} = \frac{sen\alpha}{sen\beta}$$

Donde *n* es el índice de refracción, *c* es la velocidad de la luz en el vacío, *v* es la velocidad de la luz en un medio determinado, α es el ángulo de incidencia de la luz, β es el ángulo transmitido de la luz.

1.1.1.5.4. *Reflexión*

Se produce cuando cualquier radiación excita a los electrones hacia niveles superiores de energía y cuando regresan a sus niveles originales ocurre la reflexión.

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = Coeficiente\ de\ reflexión$$

1.1.1.5.5. *Absorción*

La absorción o la Atenuación se producen cuando los fotones ceden su energía al material.

$$I = I_0 e^{-\alpha t}$$

Donde I es la intensidad, I_0 es la intensidad inicial, α coeficiente de absorción del material y *t* es el espesor de la chapa del material.

1.1.1.5.6. *Transmisión*

Se produce cuando los fotones no interactúan con la estructura electrónica del material.

1.1.1.6. Propiedades Químicas

Son aquellas propiedades que indican el cambio y comportamiento de los materiales cuando la identidad de la materia se altera. Se incluye la actividad química o comportamiento con otros materiales los cuales se manifiestan cuando transforman en otro distinto.

1.1.1.6.1. De Degradación

Se da cuando hay una reacción química y la misma produce degradación del material, entre ellos se encuentra la corrosión y la oxidación.

1.1.1.6.1.1. Corrosión

Se define la corrosión como el deterioro que sufren los metales cuando interactúan con el medio en el que trabajan y es la disolución o deterioro de un metal en un medio determinado.

La corrosión causa pérdidas enormes y desgracias incalculables, debidas a accidentes producidos por la rotura de piezas debilitadas por la oxidación y corrosión.

1.1.1.6.1.2. Oxidación

La oxidación se la puede definir como la acción del oxígeno en los metales para formar óxidos con la intervención del calor.

Si la temperatura se eleva, la oxidación puede progresar por un fenómeno de doble difusión. A medida que aumenta el espesor de la película aumenta también la dificultad de difusión, hasta que al llegar a un determinado grueso se detiene y, por tanto, cesa también la oxidación.

1.1.1.6.1.3. Deterioro

Es el deterioro que tiene un material a la acción de la corrosión y la oxidación. Es uno de los problemas que tiene un material metálico sino se realiza un proceso anticipado como el tratamiento superficial.

1.1.1.7. Propiedades Mecánicas

Algunas propiedades físicas que representan el comportamiento de un material ante la acción de cargas, combinadas o no, se les llama propiedades mecánicas, por lo cual, permiten juzgar la actitud de un material para su utilización mecánica, es decir, soporta esfuerzos sin deformarse ni romperse o sufrir deformaciones sin rotura, por lo que, las mismas son de vital importancia desde el punto de vista de ingeniería al momento de emprender el diseño de un producto.

Las propiedades mecánicas más importantes son: Módulo de elasticidad, límite de fluencia, resistencia a la tracción, ductilidad, tenacidad, maleabilidad, dureza, resistencia a la fatiga, entre otras.

La determinación de las propiedades mecánicas se hace mediante la realización de ensayos, a menudo, si se obtiene una propiedad mediante condiciones de ensayo diferentes, se obtendrán resultados diferentes, por tal motivo, los ensayos utilizados para la determinación de propiedades mecánicas están estandarizados de acuerdo a una norma: ASTM.

El comportamiento mecánico de un acero depende fundamentalmente del tipo de que se trate (composición química) y además, de la “condición (calidad)” y el “estado”. Por otra parte, el comportamiento del material varía con:

- El carácter de los esfuerzos a que se halle sometido: tracción, compresión, flexión, etc.
- La naturaleza del esfuerzo: monoaxial, biaxial o triaxial.
- Las condiciones de aplicación: progresiva, rápida, permanente, variable, cíclica, etc.
- Las condiciones de temperatura en que se realiza la aplicación.

1.1.1.7.1. Resistencia de materiales

La resistencia de un material determina la cantidad de fuerza o carga que puede soportar antes de ceder. En el caso de los metales y de los polímeros termoplásticos, el criterio de diseño se fundamenta habitualmente en el esfuerzo de fluencia y en el caso de los materiales frágiles, como la cerámica y el concreto, el criterio de falla es el esfuerzo a la trituración por compresión y no por tensión, que es alrededor de 15 veces más pequeña que por compresión.

1.1.1.7.1.1. Resistencia a la tracción [σ_T]

Después de iniciarse la deformación plástica, la tensión necesaria para continuar la deformación en los metales aumenta hasta un máximo, y después disminuye hasta que finalmente se produce la fractura. La resistencia a la tracción (MPa o psi) es la tensión en el máximo del diagrama esfuerzo-deformación. Esto corresponde a la máxima tensión que puede ser soportada por una estructura a tracción; si esta tensión es aplicada y mantenida, se producirá la rotura. Hasta llegar a este punto, toda la deformación es uniforme en la región estrecha de la probeta.

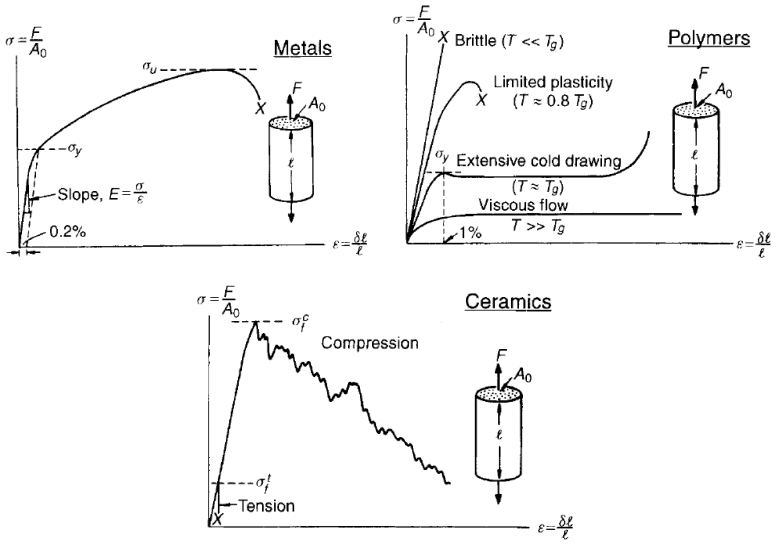


Fig. 1.2. Curvas Esfuerzo-Deformación de Varios Materiales

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 23-24*

Sin embargo, cuando se alcanza la tensión máxima, se empieza a formar una disminución localizada en el área de la sección transversal en algún punto de la probeta, lo cual se denomina estricción o cuello, y toda la deformación subsiguiente está confinada en la estricción. La fractura ocurre en la estricción. La tensión de fractura o bien de rotura corresponde a la tensión en la fractura.

1.1.1.7.1.2. Resistencia a la compresión [σ_C][8]

Es la resistencia que presenta un cuerpo a cambiar su forma y dimensiones ante la aplicación de esfuerzos normales de compresión. Este fenómeno puede ser analizado cuantitativamente mediante el ensayo normalizado de compresión.

1.1.1.7.1.3. Resistencia a la flexión [σ_F][9]

Es la resistencia que presentan los cuerpos a la acción tanto de esfuerzos axiales como cortantes resultantes de aplicación de carga en un elemento simplemente apoyado.

1.1.1.7.1.4. Resistencia a la Torsión [τ][10]

Es la resistencia que presenta un cuerpo a la acción de esfuerzos cortantes, generados por el momento torsor aplicados en su sección transversal.

$$\tau = \frac{F}{A_o}$$

Donde *F* es la carga o fuerza impuesta paralelamente a las caras superior e inferior, cada una de las cuales tiene un área A_o.

[8] PERSONAL Laboratorio Metalografía; Guía de Prácticas; Quito; p. 3
[9] PERSONAL Laboratorio Metalografía; Op. Cit.; p. 3
[10] PERSONAL Laboratorio Metalografía; Op. Cit.; p. 3

1.1.1.7.1.5. Resistencia al Corte [γ]

Es la resistencia que presenta un cuerpo a la acción de esfuerzos cizallantes.

1.1.1.7.1.6. Resistencia al Impacto [G_{IC}][11]

Es la cantidad de energía que es capaz de absorber un cuerpo antes de fracturarse en forma violenta. Si el material es capaz de absorber en estas condiciones, se lo define como un material tenaz.

1.1.1.7.1.7. Resistencia a la fatiga[12]

Es el deterioro gradual de un material que está sujeto a cargas repetidas, por ejemplo, cargas axiales de tracción que se aplican consecutivamente, y estas se realizan pruebas de tipo dinámico. Los ciclos de carga se aplican hasta que se alcanza la falla de la probeta a un número de ciclos límite.

1.1.1.7.2. Dureza [H]

La resistencia que ofrece un material a la penetración, de la misma manera que se define como resistencia al rayado y es un indicativo a la resistencia al desgaste del material.

1.1.1.7.3. Tenacidad

Se refiere al trabajo desarrollado por el acero en su proceso de deformación hasta la rotura; en otras palabras, es la capacidad de absorber energía mecánica deformándose antes de romperse. Su valor depende de la ductilidad y resistencia del material.

[11] Ibíd.; p. 5
[12] Ibíd.; p. 5

1.1.1.7.4. Tenacidad a la fractura [K_{IC}]

Es la resistencia que ofrece un material a la propagación de grietas

$$K_{IC} = Y\sigma_f \sqrt{\pi a}$$

Donde K_{IC} es la tenacidad a la fractura y sus unidades son ($MPa\sqrt{m}$ *ó* $Ksi\sqrt{pu\,\mathrm{lg}}$), Y es la constante geométrica dimensional, a es la longitud de una grieta de borde o la mitad de una grieta interna y σ_f es el esfuerzo de fluencia.

1.1.1.7.5. Resilencia [U_r]

La resistencia es la capacidad de un material de absorber energía elástica cuando es deformado y de ceder esta energía cuando se deja de aplicar. La propiedad asociada se denomina módulo de resiliencia, U_r, que es la energía de deformación por unidad de volumen que se requiere para deformar un material hasta el límite elástico.

Matemáticamente, el módulo de resiliencia de una probeta sometida a una carga uniaxial es justamente el área debajo de la curva esfuerzo-deformación hasta la fluencia.

$$U_r = \int_0^{\in y} \sigma \, d \in$$

Los materiales resilientes son aquellos que tienen un límite elástico muy alto y un módulo de elasticidad muy bajo; tales aleaciones podrían utilizarse en aplicaciones para muelles.

1.1.1.7.6. Ductilidad de tensión

La ductilidad mide el grado de deformación que un material puede soportar sin romperse. Existen dos procedimientos para describir la ductilidad. Primero, se

podría medir la distancia entre las marcas hechas en la probeta antes y después del ensayo. El porcentaje de alargamiento o elongación expresa la distancia que se estira una probeta antes de la ruptura.

$$\text{Elongación} = \frac{l_f - l_o}{l_o} x100$$

Donde l_f es la distancia entre las marcas después de romperse la probeta.

El segundo consiste en medir el cambio porcentual del área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después de la prueba. El porcentaje de adelgazamiento o reducción de área describe la disminución del área transversal que experimenta la probeta durante la prueba de ruptura.

$$\text{Reducción de área} = \frac{A_o - A_f}{A_o} x100$$

Donde A_f es el área transversal final en la fractura.

Los materiales dúctiles exhiben una curva esfuerzo-deformación que llega a su máximo en el punto de resistencia a la tensión. En materiales más frágiles, la carga máxima o resistencia a la tensión ocurre en el punto de falla. En materiales extremadamente frágiles, como los cerámicos, el esfuerzo de fluencia, la resistencia a la tensión y el esfuerzo de ruptura son iguales.

1.1.1.7.7. Resistencia a la termofluencia

Es la resistencia que ofrecen los materiales a la termofluencia que es la deformación plástica progresiva de un metal o aleación bajo la carga constante en un período de tiempo (1000-10000 horas)

1.1.1.7.8. Tecnológicos Mecánicos

Este tipo de propiedades son las que se obtienen por medio de pruebas tecnológicas previos a los procesos de conformado mecánico, tratamientos térmicos, etc., como por ejemplo doblado, embutición, forjado, templabilidad, profundida de endurecimiento, soldabilidad, rechupe, contracción.

1.1.1.7.8.1. Plasticidad

Blandura que permite modificar la forma por la acción de una fuerza o presión moderada.

1.1.1.7.8.2. Ductilidad

Propiedad para extenderse en hilos por la acción de medios mecánicos (hilera)

1.1.1.7.8.3. *Maleabilidad*

Propiedad para extenderse en láminas bajo la acción de medios mecánicos (laminador).

1.1.1.7.8.4. *Fragilidad*

Propiedad de romperse al tratar de modificar ligeramente su forma.

1.2. ENSAYOS

Los ensayos son pruebas que ayudan a medir una propiedad para criticar la factibilidad del material, en este caso se estudiará los ensayos para metales y aleaciones.

1.2.1. ENSAYOS DE METALES Y ALEACIONES

Para poder señalar la calidad de los metales y sus posibles aplicaciones, es necesario conocer sus principales características, que se pueden determinar haciendo en cada caso ensayos apropiados. Entre las diversas características que pueden interesar en la industria, las características mecánicas son en general las que se determinan con más facilidad y también las más importantes para poder decidir con cierto criterio el empleo adecuado de los metales en la construcción de máquinas, motores, edificios, puentes, vías férreas, etc. En cambio es menos frecuente y más complicado el estudio de las características eléctricas o químicas de los materiales. Sin embargo, en ocasiones, se determinan la permeabilidad de los materiales, histéresis magnética, intensidad de imantación, etc., y también la resistencia a la acción de agentes corrosivos de ciertos medios o ambientes desfavorables, como el de ciudades industriales, puertos de mar, etc.

Entre los diversos fines para los que es interesante realizar estos ensayos, los más importantes son los siguientes:

- Para determinar las propiedades de los aceros y fijar sus posibilidades de utilización.
- Para efectuar el control de calidad durante los procesos de fabricación.
- Para determinar los tratamientos, composiciones o tipos de acero más apropiados para un uso determinado.
- Para establecer las causas de fracasos en servicios y determinar si unos materiales pueden ser reemplazados por otros.
- Para el estudio de nuevos tipos de aceros
- Para investigación de nuevos procesos de fabricación.

1.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS

Con los ensayos se intenta simular las condiciones de trabajo para determinar la idoneidad del material o pieza en cuestión. Debido a la diversidad de propiedades y a las diferentes formas de determinarlas, los ensayos se pueden clasificar en:

1.2.2.1. Según la rigurosidad del ensayo

Este tipo de ensayos se clasifican en científicos y tecnológicos, pues da la austeridad del proceso de la prueba.

1.2.2.1.1. Ensayos Científicos

Son ensayos que se hacen en laboratorios especializados y permiten obtener valores precisos y reproducibles de las propiedades ensayadas, ya que las condiciones a las que se somete el material están convenientemente normalizadas.

1.2.2.1.2. Ensayos tecnológicos

Se realizan en fábricas e indican las calidades del material

1.2.2.2. Según la naturaleza del ensayo

Los ensayos que se realizan con los aceros pueden clasificarse en cuatro grupos principales: Ensayos físicos, químicos, físico-químicos, eléctricos y metalográficos.

1.2.2.2.1. Ensayos físicos

Los más utilizados son los ensayos de dureza, tracción, choque, fatiga y penetración de temple. También se hacen, aunque no con tanta frecuencia,

ensayos de maquinabilidad, de resistencia al desgaste, aptitud de corte, deformación al temple, ensayos de magnaflux, rayos X, ensayos ultrasónicos, etc.

1.2.2.2.2. Ensayos químicos

Los más importantes son los análisis químicos destinados a determinar la composición cualitativa y cuantitativa, y los ensayos que se hacen para conocer la resistencia a la oxidación a elevadas temperaturas, resistencia a la corrosión bajo la acción de determinados agentes, como niebla salina, etc.

1.2.2.2.3. Ensayos físico-químicos

En este grupo pueden incluirse algunos ensayos especiales como: el ensayo de chispa para determinar la composición o calidad aproximada de un acero o la presencia en el mismo de ciertos elementos de aleación; ensayos macroscópicos y microscópicos en lo que se realizan ataques químicos superficiales y luego se hace el examen posterior de la estructura; ensayos con papel fotográfico para revelar la posible segregación del azufre. También se realizan otros ensayos para determinar la porosidad y rechupe; el ensayo de Mc Quaid para fijar la normalidad y el tamaño del grano, etc., etc.

1.2.2.2.4. Ensayos eléctricos

Entre los más importantes se pueden destacar: la determinación de pérdidas por histéresis, inducción, permeabilidad, fuerza coercitiva, magnetismo remanente, etc.

1.2.2.2.5. Ensayos metalográficos

Con el uso de microscopios permiten conocer la microestructura del material (fases, límites de grano, cristales).

1.2.2.3. Según la utilidad de la pieza después de ser sometida al ensayo

Por el provecho de la probeta después de ser sometida al ensayo se clasifican en ensayos destructivos y no destructivos.

1.2.2.3.1. Ensayos destructivos

Son aquellos que producen un daño notable o rotura de la pieza sometida al ensayo.

1.2.2.3.2. Ensayos no destructivos

Se analizan los defectos externos e internos de una pieza mediante procedimientos de observación directa empleando microscopios, rayos X, ultrasonidos, campos magnéticos, tintas penetrantes, etc.

1.2.2.4. Según la velocidad de aplicación de los esfuerzos

Por la carga que estan sometidas las probetas en un intervalo de tiempo, se clasifican en ensayos estáticos cuando la carga es constante y ensayos dinámicos cuando la carga es fluctuante.

1.2.2.4.1. Ensayos Estáticos

Son aquellos en los que la velocidad de aplicación de la fuerza no influye en el resultado. Dentro de este grupo podemos encontrar: Ensayos de dureza, tracción en, fluencia, compresión, pandeo, flexión estática y torsión.

1.2.2.4.2. Ensayos Dinámicos

Son aquellos en los que la velocidad de aplicación de las fuerzas forma un papel importante en el ensayo. Un ejemplo de este tipo, es el ensayo de flexión. Dentro

de este grupo podemos encontrar: ensayos de resistencia al choque, desgaste, y fatiga.

1.3. DIAGRAMAS

Los diagramas son mapas que nos muestran las fases estables presentes en condiciones de mínimas de energía, obtenidas de los diagramas de enfriamiento del elemento desde su punto de fusión hasta su punto de solidificación.

1.3.1. DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO DE FASES[13]

La mayor parte de la información sobre el control de la microestructura o estructura de fases de una aleación particular se encuentra recopilada en el llamado diagrama de fases, diagrama de equilibrio ó diagrama constitucional. A partir de las transformaciones de fases, de los cambios que ocurren entre fases al modificar la temperatura (generalmente en el subenfriamiento), se originan la mayoría de las microestructuras, lo que implica la transformación de una fase a la otra o la aparición o la desaparición de una fase.

Los diagramas de equilibrio de fases representan las relaciones entre la temperatura, la estructura, la composición y las cantidades de fases en equilibrio por lo que se construyó en base a las curvas de enfriamiento.

1.3.2. DIAGRAMA HIERRO-CARBONO[14]

El sistema de aleaciones binario más importante es el hierro-carbono. Los aceros y las fundiciones, esto es, los materiales estructurales primarios en todas las culturas tecnológicamente avanzadas, son esencialmente aleaciones hierro-carbono.

---

[13] CALLISTER William; Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales; Madrid: Ed. Reverté; 1995; p. 252
[14] CALLISTER William; Op. Cit.; p. 252

En la figura 1.31., representa una parte del diagrama de fases hierro-carbono. El hierro puro, al calentarse, experimenta dos cambios de la estructura cristalina antes de fundir. A temperatura ambiente la forma estable se llama ferrita o hierro α y tiene la estructura BCC. La ferrita experimenta a 912ºC una transformación polimórfica a austenita FCC o hierro γ. La austenita persiste hasta 1394ºC, temperatura a la que la austenita vuelve a convertirse en una fase BCC conocida como ferrita δ, que funde a 1538ºC. Todos estos cambios aparecen a lo largo del eje vertical izquierdo del diagrama de fases.

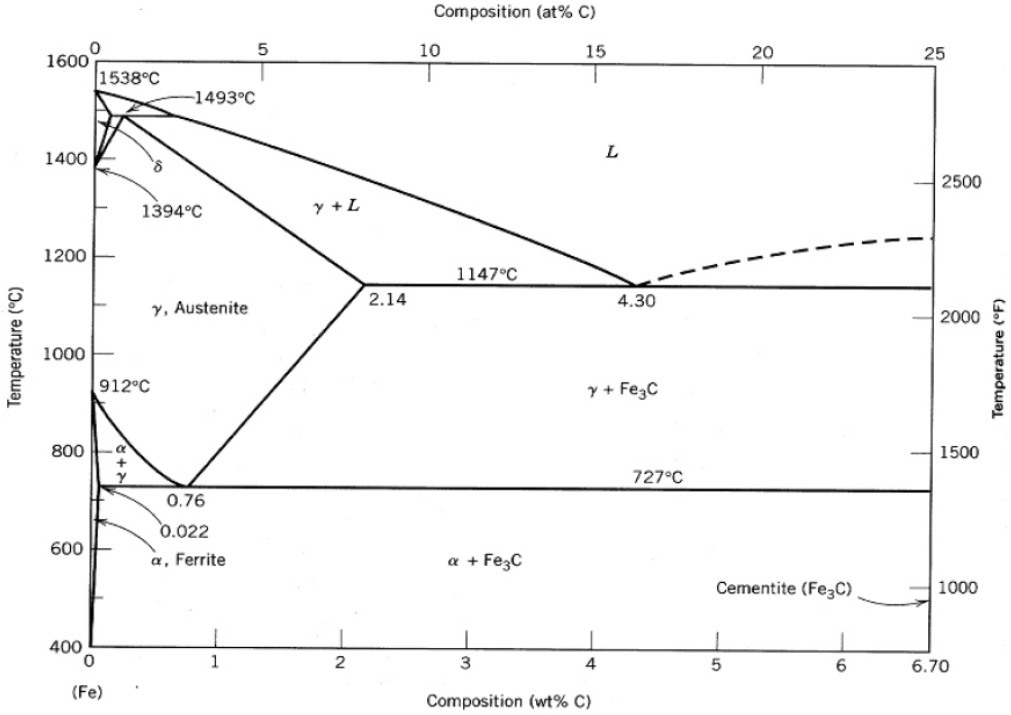


Fig. 1.3. Diagrama de fases hierro-carburo de hierro

Fuente: http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/

El eje de composición solo llega hasta 6.70% en peso de C, concentración que coincide con del compuesto intermedio carburo de hierro o cementita (Fe_3C), representado por una línea vertical en el diagrama de fases. Así, el sistema hierro-carbono se puede dividir en dos partes: una parte rica en hierro y otra parte (no mostrada) de composición comprendida entre 6.70% y 100% C (grafito puro). Prácticamente todos los aceros y fundiciones tienen porcentajes de carbono inferiores a 6.70%C; por lo tanto, sólo se considera la parte rica en hierro del sistema hierro-carburo de hierro. En la ferrita α BCC sólo son solubles muy

pequeñas concentraciones de carbono; la solubilidad máxima es de 0,022% en peso y corresponde a 727ºC.

1.3.2.1. Microestructuras de los Aceros[15]

Los constituyentes metálicos que pueden presentarse en los aceros al carbono son: ferrita, cementita, perlita, sorbita, troostita, martensita, bainita, y rara vez austenita, aunque nunca como único constituyente. También pueden estar presentes constituyentes no metálicos como óxidos, silicatos, sulfuros y aluminatos.

El análisis de las microestructuras de los aceros al carbono recocidos y fundiciones blancas deben realizarse en base al diagrama metaestable Hierro-carburo de hierro o Cementita.

Las microestructuras que presenta el diagrama de equilibrio para los aceros al carbono son:

1.3.2.1.1. Ferrita ó hierro α

Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro, la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0,02% a 723 ℃.

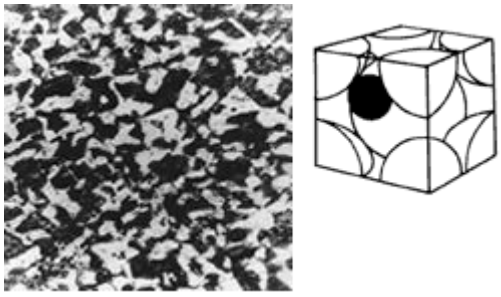


Fig. 1.4. Microestructura del acero al carbono, cristales blancos de ferrita

Fuente: *http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm#sorbita*

[15] http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm#sorbita

La ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica centrada en el cuerpo, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de 28 kg/mm^2, llegando hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros.

En los aceros, la ferrita puede aparecer como cristales mezclados con los de perlita, en los aceros de menos de 0.6%C, formando una red o malla que limita los granos de perlita, en los aceros de 0.6 a 0.85%C en forma de agujas o bandas circulares orientados en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita como en los aceros en bruto de colada o en aceros que han sido sobrecalentados.

Este tipo de estructura se denomina Widmanstatten. La ferrita también aparece como elemento eutectoide de la perlita formando láminas paralelas separadas por otras láminas de cementita, en la estructura globular de los aceros de herramientas aparece formando la matriz que rodea los glóbulos de cementita, en los aceros hipoeutectoides templados, puede aparecer mezclada con la martensita cuando el temple no ha sido bien efectuado.

1.3.2.1.2. Cementita

Es el carburo de hierro de fórmula Fe3C, contiene 6.67 %C y 93.33 % de hierro, es el microconstituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, alcanzando una dureza Brinell de 700 (68 Rc) y cristaliza en la red ortorómbica.

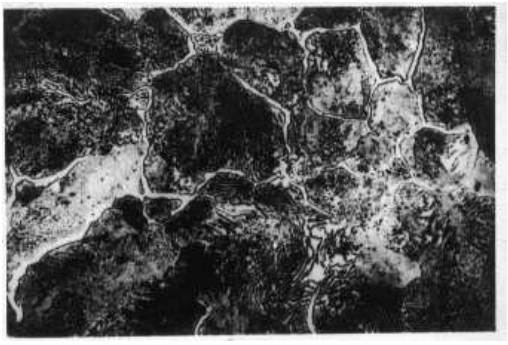


Fig. 1.5. Microestructura del acero 1%C, red blanca de cementita

Fuente: *http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm#sorbita*

En las probetas atacadas con ácidos se observa de un blanco brillante y aparece como cementita primaria o proeutéctica en los aceros con más de 0.9%C formando una red que envuelve los granos de perlita, formando parte de la perlita como láminas paralelas separadas por otras láminas de ferrita, se presenta en forma de glóbulos o granos dispersos en una matriz de ferrita, cuando los aceros de alto carbono se han sometido a un recocido de globulización, en los aceros hipoeutectoides que no han sido bien templados.

1.3.2.1.3. Perlita

Es el microconstituyente eutectoide formado por capas alternadas de ferrita y cementita, compuesta por el 88 % de ferrita y 12 % de cementita, contiene el 0.8 %C. Tiene una dureza de 250 Brinell, resistencia a la tracción de 80 kg/mm^2 y un alargamiento del 15%; el nombre de perlita se debe a las irisaciones que adquiere al iluminarla, parecidas a las perlas. La perlita aparece en general en el enfriamiento lento de la austenita y por la transformación isotérmica de la austenita en el rango de 650 a 723℃.

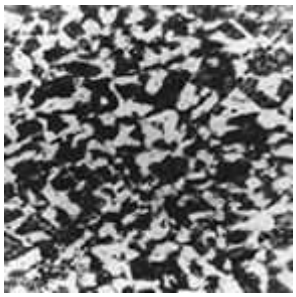


Fig. 1.6. Microestructura del acero al carbono, cristales oscuros de perlita

Fuente: *http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm#sorbita*

Si el enfriamiento es rápido (100-200℃/seg.), la e structura es poco definida y se denomina Sorbita, si la perlita laminar se somete a un recocido a temperatura próxima a 723℃, la cementita adopta la forma de gl óbulos incrustados en la masa de ferrita, denominándose perlita globular.

1.3.2.1.4. Austenita

Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma. La cantidad de carbono disuelto, varía de 0.8 al 2 % C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130℃. La austenita no es estable a la temperatura ambiente pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente.

La austenita está formada por cristales cúbicos centrados en las caras, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 kg/mm^2 y un alargamiento del 30 %, no es magnética.

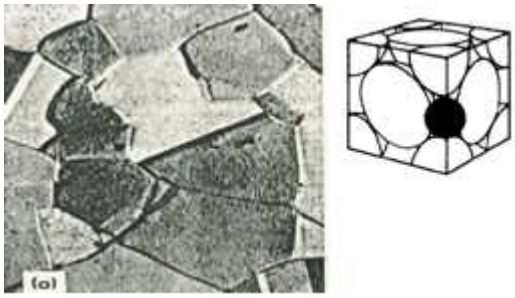


Fig. 1.7. Microestructura de la austenita

Fuente: *http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm#sorbita*

La austenita se disuelve con agua regia en glicerina apareciendo como granos poligonales frecuentemente maclados, puede aparecer junto con la martensita en los aceros templados.

1.3.2.1.5. Martensita

Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas.

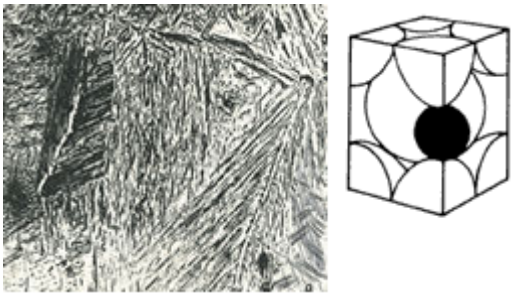


Fig. 1.8. Microestructura de la martensita

Fuente: *http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm#sorbita*

El contenido de carbono suele variar desde muy poco carbono hasta el 1% de carbono, sus propiedades físicas varían con su contenido en carbono hasta un máximo de 0.7 %C.

La martensita tiene una dureza de 50 a 68 Rc, resistencia a la tracción de 170 a 250 kg/mm^2 y un alargamiento del 0.5 al 2.5 %, muy frágil y presenta un aspecto acicular formando grupos en zigzag con ángulos de 60 grados.

Los aceros templados suelen quedar demasiado duros y frágiles, inconveniente que se corrige por medio del revenido que consiste en calentar el acero a una temperatura inferior a la crítica inferior (727℃), dependiendo de la dureza que se desee obtener, enfriándolo luego al aire o en cualquier medio.

1.3.2.1.6. Troostita

Es un agregado muy fino de cementita y ferrita, se produce por un enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento ligeramente inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en el rango de temperatura de 500 a 600C, o por revenido a 400C.

Sus propiedades físicas son intermedias entre la martensita y la sorbita, tiene una dureza de 400 a 500 Brinell, una resistencia a la tracción de 140 a 175 kg/mm^2 y un alargamiento del 5 al 10%. Es un constituyente nodular oscuro con estructura radial apreciable a unos 1000X y aparece generalmente acompañando a la martensita y a la austenita.

1.3.2.1.7. Sorbita

Es también un agregado fino de cementita y ferrita. Se obtiene por enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento bastante inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en la zona de 600 a 650C, o por revenido a la temperatura de 600C. Su dureza es de 250 a 400 Brinell, su resistencia a la tracción es de 88 a 140 kg/mm^2, con un alargamiento del 10 al 20%.

Con pocos aumentos aparece en forma muy difusa como manchas, pero con 1000X toma la forma de nódulos blancos muy finos sobre fondo oscuro, de hecho tanto la troostita como la sorbita pueden considerarse como perlita de grano muy fino.

1.3.2.1.8. Bainita

Es el constituyente que se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a 500℃. Se diferencian dos tipos de estructuras: la bainita superior de aspecto arborescente formada a 500-580℃, compuesta por una matriz ferrí tica conteniendo carburos. Bainita inferior, formada a 250-400C tiene un aspecto acicular similar a la martensita y constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos.

La bainita tiene una dureza variable de 40 a 60 Rc comprendida entre las correspondientes a la perlita y a la martensita.

Los constituyentes que pueden presentarse en los aceros aleados son los mismos de los aceros al carbono, aunque la austenita puede ser único constituyente y además pueden aparecer otros carburos simples y dobles o complejos.

1.3.3. DIAGRAMAS TTT[16]

Para el estudio de los tratamientos térmicos, principalmente el temple, normalizado y recocido de los aceros, es muy interesante la representación gráfica ideada por Bain y Davenport, destacados metalurgistas de United States Corporation Research Laboratory, llamada también curvas de las “S”, debido a su forma característica, y por otros diagrama o curva TTT (Temperatura, tiempo, transformación) y también diagrama de transformaciones isotérmicas de la austerita, que señala, a diversas temperaturas, el tiempo necesario para que se inicie y complete la isotérmica transformación de la austerita en otros constituyentes.

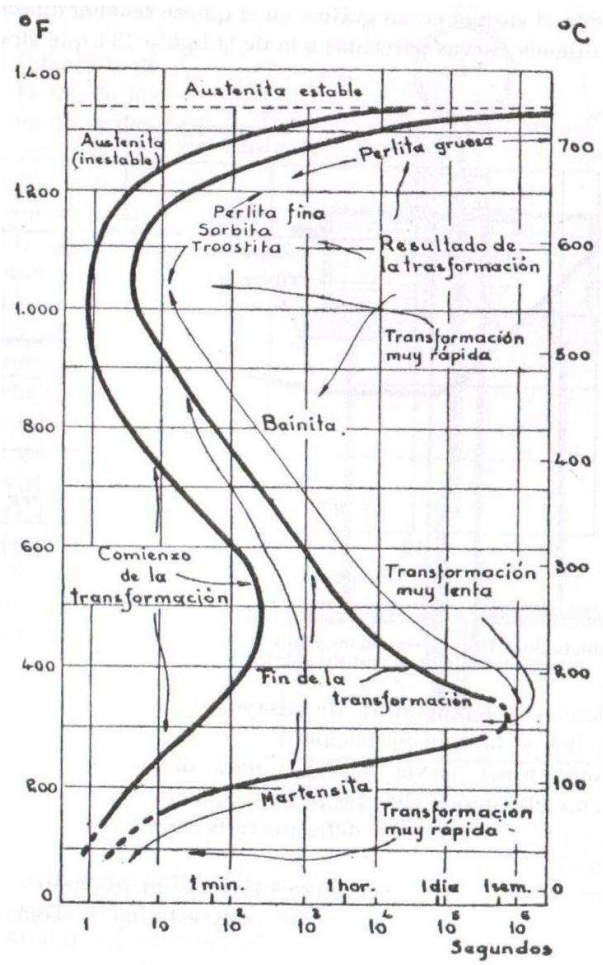


Fig. 1.9. Diagrama TTT de un acero 0.90%C y constituyentes microscópicos

Fuente: *APRAIZ Barreiro. Tratamientos Térmicos de los Aceros. p. 141*

[16] APRAIZ B. José; Tratamientos Térmicos de los Aceros; Madrid: Dossat; 1968; p. 135

1.4. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales se les puede clasificar en: materiales ferrosos, materiales no ferrosos, materiales cerámicos, materiales poliméricos y materiales compuestos.

1.4.1. MATERIALES FERROSOS

Las aleaciones ferrosas son el grupo de materiales que hasta el momento ocupan alrededor del 90% de la producción y consumo del mundo; y son una combinación de hierro (metal) con diferentes elementos aleantes (metales y no metales), los cuales darán propiedades específicos a la aleación y además conservan las características metálicas del hierro.

1.4.1.1. Fundiciones[17]

Las fundiciones o hierros fundidos son aleaciones hierro-carbono-silicio que por lo general contiene entre 2% y 4% de C, y 0.5% y 3% de Si, que experimentan la reacción eutéctica durante la solidificación.

Estas aleaciones pasan al estado líquido entre 1150º y 1300ºC, estas temperaturas son considerablemente más bajas que las de los aceros. Por esa razón se utilizan en procesos de fundición por cuanto la mayoría de estas aleaciones son muy frágiles.

La cementita (Fe_3C) es un compuesto metaestable y bajo ciertas condiciones se descompone en ferrita y grafito, además, la formación del grafito depende de la composición química, la rapidez de enfriamiento y la presencia de silicio en concentraciones mayores al 1%. Las fundiciones se clasifican en gris, nodular, blanca y maleable.

$$Fe_3C \rightarrow 3Fe(\alpha) + C(grafito)$$

[17] CALLISTER William; Op. Cit.; p. 370

1.4.1.1.1. Fundición gris

Es la más común de las fundiciones. La solidificación produce hojuelas entrelazadas de grafito, que parecen rebanadas de papas unidas en un solo lugar. La fundición gris contiene muchos de estos aglomeramientos, o celdas eutécticas, de hojuelas de grafito; cada celda representa un punto de nucleación. La inoculación o las velocidades altas de enfriamiento ayudan a producir hojuelas más finas de grafito con un tamaño menor de la celda eutéctica, mejorando así la resistencia.

Las hojuelas de grafito, que parecen pequeñas grietas dentro de la estructura del hierro fundido, concentran los esfuerzos de modo que la fundición gris posee una baja resistencia a la tensión y se comporta de una manera frágil, con una elongación de sólo 1% o menos.

Las hojuelas no actúan como intensificadores de esfuerzos bajo cargas de compresión, de manera que una fundición gris puede soportar grandes cargas si está apropiadamente diseñada.

Fig. 1.10. Fundición gris
Fuente: http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/

1.4.1.1.2. Fundición nodular ó dúctil

Adiciones de pequeñas cantidades de magnesio y/o cerio a la fundición gris en estado líquido producen diferentes microestructuras, en las que el grafito en lugar de escamas forma esferoides, que originan distintas propiedades mecánicas.

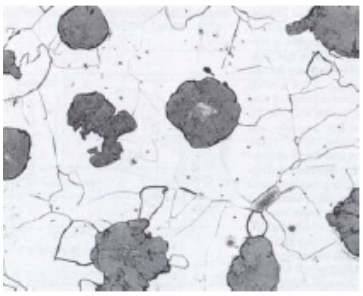


Fig. 1.11. Fundición nodular

Fuente: *http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/*

De este modo resulta la fundición dúctil, la matriz que rodea a los esferoides de grafito es ferrita o perlita, dependiendo del tratamiento térmico, en la pieza sólo moldeada es perlita, sin embargo, un calentamiento a 700ºC durante varias horas la transforma en ferrita. La fundición dúctil es más resistente y más dúctil que la gris de grafito laminar.

1.4.1.1.3. Fundición Blanca

Los hierros fundidos blancos con bajo equivalente en carbono y que contienen aproximadamente 2.5% de C y 1.5% Si, son un producto intermedio en la manufactura del hierro maleable. Cierto grupo de hierros blancos altamente aleados se usan por su dureza y resistencia al desgaste. Elementos como cromo, níquel, molibdeno se añaden de modo que, además de los carburos de aleación formados durante la solidificación, la martensita puede producirse durante un tratamiento térmico posterior.

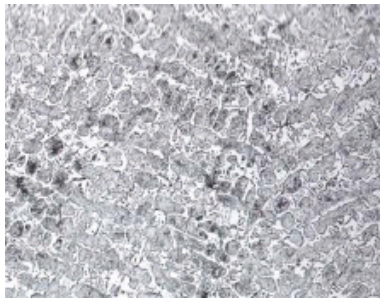


Fig. 1.12. Fundición Blanca

Fuente: *http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/*

1.4.1.1.4. Fundición Maleable

El hierro fundido maleable se produce al tratar térmicamente la fundición blanca no aleada. La cementita formada durante la solidificación se descompone y se producen nódulos o aglomeraciones de grafito. La forma redondeada del grafito permite que el hierro fundido maleable tenga una buena combinación de resistencia y ductilidad.

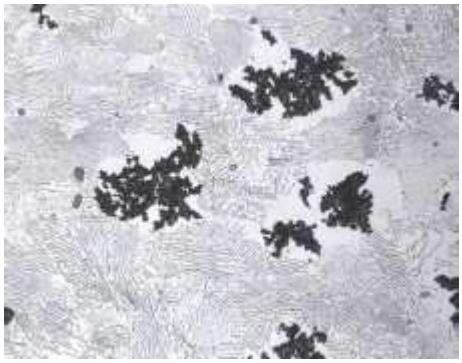


Fig. 1.13. Fundición Maleable

Fuente: *http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/*

1.4.1.2. Aceros

El acero es una aleación de carburo de hierro y carbono, y se pueden clasificar de la manera mas peculiar en aceros al carbono y aceros aleados.

1.4.1.2.1. Aceros al Carbono

El acero al carbono son aleaciones de Fe-C con un contenido alrededor del $0.05\% \geq C \geq 2.11\%$, presentan además en su constitución otros elementos, a manera de impurezas resultado del proceso de fabricación, tales como, silicio en porcentaje menor al 0.5%, manganeso, menos del 0.9%, fósforo y azufre al 0.1%. Estos elementos no son propiamente elementos de aleación, por lo que se pueden estudiar estos aceros como si fueran aleaciones binarias Fe-C en el diagrama meta-estable.

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas o pasadores para el pelo.

1.4.1.2.1.1. Clasificación de los Aceros al Carbono

Los aceros al carbono se pueden clasificar de diferente manera: según el procedimiento de facbricación, según el contenido de carbono, atendiendo su punto eutectoide, atendiendo su estructura de fase, según su calidad y por la aplicación.

1.4.1.2.1.1.1. Según el Procedimiento de Fabricación[18]

Tabla 1.1. Clasificación general de los aceros de acuerdo con el proceso de fabricación.

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

Fuente: *APRAIZ José. Aceros Especiales. p. 4*

1.4.1.2.1.1.2. Según el contenido de carbono

- ***Aceros de bajo contenido de carbono.-*** Estos aceros contienen menos del 0.25% C, no adquieren dureza sensible con un temple. Su resistencia media en estado normalizado varia de 35 a 53 Kg/mm2 y los alargamientos de 33 a 23%. Con estos aceros de 0.06 a 0.25% de carbono, se fabrican los puentes de ferrocarril, las grandes estructuras de las estaciones, las columnas metálicas de las líneas eléctricas, los cascos de los buques, las estructuras de

[18] www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/d12.htm

las casas, las carrocerías de los automóviles, los tubos de las bicicletas, los clavos, los alfileres, las cerraduras de las puertas, los asientos de las clases y muchos objetos más que utilizamos diariamente.

En la mayoría de los casos se utiliza el acero tal como viene de las acerías, sin darle ningún tratamiento térmico especial.

- ***Aceros de medio contenido de carbono.-*** Los aceros de contenido medio de carbono, tienen aproximadamente de 0.30 a 0.50% de carbono. Este contenido de carbono es suficiente para permitir el endurecimiento, por lo tanto, esas composiciones se pueden someter a tratamientos térmicos para mejorar las propiedades.

- ***Aceros de alto contenido de carbono.-*** Estos aceros tienen más del 0.55% de carbono, llegan hasta aproximadamente 0.95% de carbono, son aceros más duros, fuertes y menos dúctiles y los que mejor responden al tratamiento térmico, por esta razón no se puede soldar con facilidad, casi siempre se los utiliza en estado templado, con el fin de que desarrolle la mayor dureza, resistencia, tenacidad y ductilidad.

1.4.1.2.1.1.3.Atendiendo a su punto eutectoide

Tabla 1.2. Clasificación de los aceros al carbono atendiendo su punto eutectoide

Acero Hipoeutectoide (0.008-0.8%C)		**Acero Eutectoide (0.8%C)**		**Acero Hipereutectoide (0.8-2.14%C)**	
Temp. (Según el %C)	**Estructura de Fase**	**Temp.**	**Estructura de Fase**	**Temp. (Según el %C)**	**Estructura de Fase**
Tamb. – 723ºC	Ferrita + Perlita	Tamb. – 723ºC	Perlita	Tamb. – 723ºC	Perlita + Cementita
723º - 780ºC	Ferrita + Austerita	723º- 1370ºC aprox.	Austenita	723º-1000ºC	Austerita + Cementita
780º - 1450ºC	Austerita			1000º-1250ºC	Austenita

Fuente: *Apuntes Tratamientos Térmicos*

1.4.1.2.1.1.4.Atendiendo su estructura de fase

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución en el hierro. Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de tres sustancias: ferrita, perlita y cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita, un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, y sus propiedades físicas son intermedias entre las de sus dos componentes. La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente depende de las proporciones de estos tres ingredientes. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está por completo compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono aún mayores es una mezcla de perlita y cementita. Al elevarse la temperatura del acero, la ferrita y la perlita se transforman en una forma alotrópica de aleación de hierro y carbono conocida como austenita, que tiene la propiedad de disolver todo el carbono libre presente en el metal. Si el acero se enfría despacio, la austenita vuelve a convertirse en ferrita y perlita, pero si el enfriamiento es repentino la austenita se convierte en martensita, una modificación alotrópica de gran dureza similar a la ferrita pero con carbono en disolución sólida.

1.4.1.2.1.1.5.Según su calidad

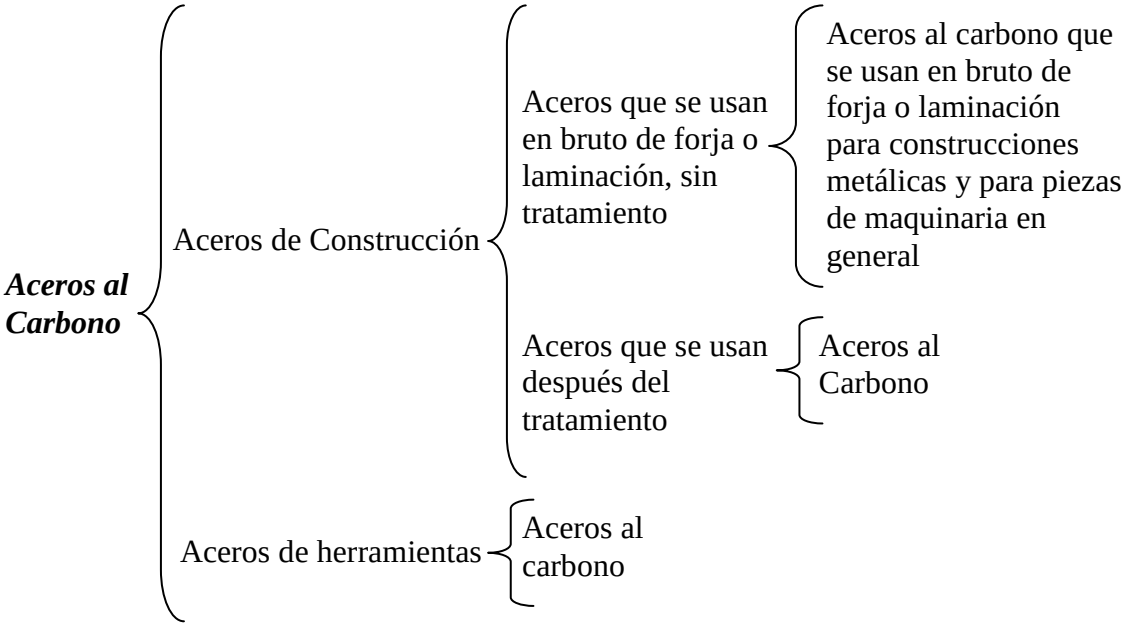
- ***Aceros efervescentes.-*** sólo se ha eliminado una pequeña parte del oxígeno mientras dura el proceso de solidificación, lo que deja una capa exterior o cerco relativamente libre de carbono, o sea que el centro del lingote tiene un mayor contenido de carbono que el exterior. Esta superficie con una porción de carbono extremadamente baja es muy dúctil, tiene excelentes cualidades de su superficie y muy buenas características para su conformado en frío. Muchos aceros con menos acero 0,15 % de carbono son efervescentes

- ***Aceros Calmados.-*** son lo opuesto a los efervescentes; a estos aceros se les ha extraído gran cantidad de oxígeno, de donde resulta un acero relativamente libre de carbono. Los aceros calmados son útiles cuando se necesitan técnicas severas de conformado, pero siempre requiere un tratamiento térmico al terminar la técnica de conformado de manufactura.

  Son los que han sufrido una desoxidación completa. Todos los aceros forjados, y en general los que contienen más de un 0,25 % de carbono, son calmados.

- ***Aceros Semi-calmados.-*** Tienen una composición y propiedades mecánicas que varían entre las de los aceros efervescentes y los calmados. Los aceros tapados combinan las características de los aceros efervescentes y las de los semi-calmados o sea, el cerco de carbono se forma en la superficie del acero, y el grueso de la sección transversal interior tiene las características del acero semicalmado. Los aceros de construcción que contienen de un 0,15 % a un 0,25 % de carbono son usualmente semi-calmados

1.4.1.2.1.1.6.Por la aplicación[19]



[19] APRAIZ B. José; Aceros Especiales; Madrid: Dossat; 1975; 5ta ed.; p 3-40, 285

- ***Aceros ordinarios al carbono que se usan en bruto de forja o laminación.-*** En este grupo se incluyen todos los aceros cuyas características y propiedades dependen principalmente del porcentaje de carbono que contienen. Se emplean en grandes cantidades para la construcción de estructuras metálicas de edificios, para elementos y piezas de maquinaria, motores, ferrocarriles, etc., y su contenido en carbono suele variar desde 0.03 a 0.70%. Además, siempre contienen pequeñas cantidades de manganeso y silicio que se emplean como elementos auxiliares en los procesos de fabricación, y de fósforo y azufre que son impurezas perjudiciales que provienen de las materias primas (lingote, chatarra, etc.) y que en los procesos de fabricación se procura reducir al mínimo.

- ***Aceros al carbono que se usan después del tratamiento térmico.-*** Los aceros al carbono templados y revenidos con porcentajes de carbono variables de 0.25 a 0.55%, se suelen emplear generalmente con resistencias comprendidas entre 55 y 90 kg/mm^2 y, a veces, en casos excepcionales como el de fabricación de muelles, se usan hasta con resistencias de 150 a 200 kg/mm^2.

- ***Aceros de herramientas al carbono.***- Esta clase de aceros es la que ha servido durante años para fabricar toda clase de herramientas. Las variables que más influencia tiene en sus propiedades son: el contenido en carbono, que suele estar comprendido generalmente entre 0.50 y 1.40%; el contenido en manganeso, que suele variar de 0.20 a 1%; y el tamaño de grano austenítico, que conviene que sea lo más fino posible. Para que un acero de herramientas sea de calidad, sus porcentajes de fósforo y azufre debe ser inferiores a 0.030%.

1.4.1.2.2. Aceros Aleados

Se da el nombre de aceros aleados a los aceros que además de los cinco elementos: carbono, silicio, manganeso, fósforo y azufre, contienen también cantidades relativamente importantes de otros elementos como el cromo, níquel,

molibdeno, etc., que sirven para mejorar alguna de sus características fundamentales. También puede considerarse aceros aleados los que contienen alguno de los cuatro elementos diferentes del carbono que antes hemos citado, en mayor cantidad que los porcentajes que normalmente suelen contener los aceros al carbono, y cuyos límites superiores suelen ser generalmente los siguientes: Si = 0.50%; Mn = 0.90%; P = 0.100% y S = 0.100%.

Son los aceros que contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros se emplean, por ejemplo, para fabricar engranajes y ejes de motores, patines o cuchillos de corte. Los constituyentes que pueden presentarse en los aceros aleados son los mismos de los aceros al carbono, aunque la austenita puede ser único constituyente y además pueden aparecer otros carburos simples y dobles o complejos.

1.4.1.2.2.1. Elementos de aleación que amplían la región austenítica

Los elementos de aleación que amplían la región γ sin la aparición de una nueva fase son el níquel, manganeso y cobalto, además de elementos del grupo plástico, que no tienen gran importancia para la fabricación del acero. Los elementos que amplían la región γ, pero que marcan un límite a la zona por la aparición de otra fase, son además del carbono, el nitrógeno y cobre. A este grupo pertenecen además los elementos: zinc, oro y renio, los cuales tampoco tienen utilidad en la práctica.

1.4.1.2.2.2. Elementos de aleación que disminuyen la región austenítica

Aquí también aparecen dos subgrupos. Al primer grupo, pertenecen elementos que originan una reducción completa de la región, las cuales pertenecen al grupo del hierro, como son: el cromo, wolframio, molibdeno, vanadio y titanio, silicio, aluminio, fósforo, berilio, arsénico, estaño y antimonio. Al segundo grupo pertenecen elementos, que reducen la región, pero está limitada por la aparición de otra fase, dichos elementos son el tantalio, niobio, circonio y cerio

Tabla 1.3. Acción de los Principales Elementos de Aleación de los Aceros

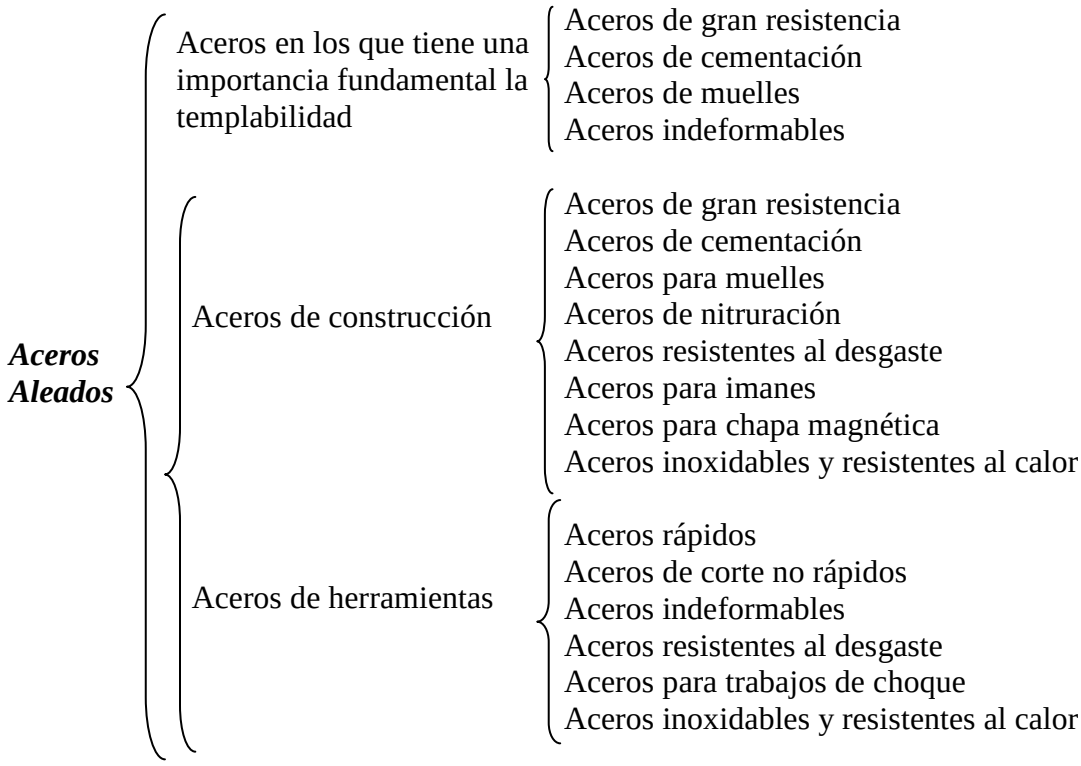
Elementos de aleación que suelen contener los aceros	Tendencia a		Posible solubilidad de los diferentes elementos aleados en la fase alfa o gamma de los aceros		Efecto endurecedor sobre la ferrita	Influencia en la formación de carburos	Influencia en la templabilidad	Influencia en la disminución de la dureza en el revenido	Principales funciones que desempeñan cada uno de los elementos
	Disolverse en la ferrita	Formar carburos	Grado máximo de solubilidad, en la fase alfa	Grado máximo de solubilidad, en la fase gamma					
Níquel	Se disuelve en la ferrita	Muy pequeña	10 a 25% independiente del % de C	Ilimitado	Endurece y mejora la tenacidad	Menor que el Fe grafitizante	Aumenta ligeramente. Tiende a retener austerita en los aceros altos en carbono	Muy poco en pequeños porcentajes	1. Aumenta la tenacidad de los aceros 2. Aumenta la resistencia de los aceros recocidos 3. Hace austeníticos los aceros altos en cromo
Cromo	Se disuelve en la ferrita	Forma carburos	Ilimitado	12.8% (20% con 0.5% carbono)	Endurece ligeramente. Mejora la resistencia a la corrosión	Mayor que en el Mn y menor que el W	Aumenta moderadamente	Mediana resistencia al ablandamiento	1. Aumenta la templabilidad 2. Mejora la resistencia a la abrasión y al desgaste 3. Aumenta la resistencia a la corrosión y oxidación. 4. Aumenta la resistencia a altas temperaturas
Molibdeno	Se disuelve en la ferrita	Grande	37.5%	3% (8% con 0.3% carbono)	Origina Envejecimiento	Mayor que el cromo	Aumente mucho la templabilidad mayor que el Cr	Se opone al ablandamiento y aparece la dureza secundaria	1. Aumenta la templabilidad 2. Contrarresta la fragilidad de revenido 3. Mejora la resistencia en caliente.
Wolframio	Se disuelve en la ferrita	Muy grande	30 a 50%	6% (11% con 0.25% de carbono)	Origina Envejecimiento	Muy fuerte	Aumente muy fuertemente cuando está en pequeñas cantidades	Gran oposición al ablandamiento y aparece la dureza secundaria	1. Forma carburos duros y resistentes al desgaste a elevadas temperaturas. 2. Mejora la dureza a elevada temperatura de los aceros
Vanadio	Se disuelve en la ferrita	Muy grande	Ilimitado	1% (4% con 0.2% de carbono)	Endurece moderadamente	Muy fuerte < Ti ó Cb	Aumenta muy fuertemente cuando está disuelto	Tiene poca influencia en porcentajes normales	1. Dificulta el crecimiento del grano en los aceros en los calentamientos. 2. Aumenta la templabilidad cuando se encuentra disuelto. 3. Dificulta el ablandamiento en el revenido y da lugar al fenómeno de dureza secundaria
Manganeso	Se disuelve en la ferrita	Forma carburos	15%	Ilimitado	Muy endurecedor	Mayor que el Fe y menor que el Cr	Aumente notablemente	No ejerce influencia sensible	1. Aumenta la templabilidad siendo su empleo muy económico 2. Contrarresta la fragilidad en caliente debida al azufre 3. Actúa como desoxidante
Silicio	Se disuelve en la ferrita	Muy pequeña	18.5%	2% (9% con 0.35% de carbono)	Endurece con pérdida de plasticidad	Menor que el Fe, actúa como grafitizante	Aumenta moderadamente Ni < Si < Mn	No ejerce influencia sensible	1. Se usa como elemento desoxidante 2. Mejora la templabilidad en los aceros con elementos no grafitizantes 3. Aumenta la resistencia de los aceros bajos en carbono
Fósforo	Se disuelve en la ferrita	No forma carburos	2.8%	0.5%	Muy endurecedor	Nula	Aumenta moderadamente	No ejerce influencia sensible	1. Aumenta la resistencia y dureza de los aceros de bajo contenido en carbono 2. Mejora en esos casos la maquinabilidad 3. Mejora ligeramente la resistencia a la corrosión.
Cobalto	Se disuelve en la ferrita	Similar al Fe	75%	Ilimitado	Muy endurecedor	Similar al hierro	Disminuye la templabilidad	No ejerce influencia sensible	1. Mejora la dureza en caliente al aumenta la dureza de la ferrita
Aluminio	Se disuelve en la ferrita	No forma	36%	1.1% Aumentada por el carbono	Muy endurecedor, cuando está en solución sólida	Negativa grafitizante	Aumenta ligeramente	No ejerce influencia sensible	1. Acción desoxidante 2. Limita el crecimiento del grano por formación de óxidos y nitruros. 3. Es el elemento aleado fundamental de ciertos aceros de nitruración.
Titanio	Se disuelve en la ferrita	Muy grande	6%	0.75% (1% con 0.2% de carbono)	Origina envejecimiento	La mayor conocida	Aumenta muy fuertemente cuando se disuelve. Disminuye cuando está en forma de carburos	En forma de carburos no ejerce influencia importante. Hay algo de endurecimiento secundario	1. Fija el carbono en forma de partículas inertes. 2. Reduce la dureza martensítica y la templabilidad en los aceros al cromo. 3. Dificulta la formación de austerita en los aceros altos en cromo. 4. Evita la pérdida de cromo en ciertas zonas de los aceros inoxidables durante calentamientos muy prolongados.
Boro	Se disuelve en la ferrita	No forma carburos	<0.15%	0.1% Aumenta con el contenido de C	Muy poco	No es sensible	Aumenta considerablemente la templabilidad estando disuelto en la austenita	No ejerce influencia sensible	1. Intensifica extraordinariamente la templabilidad en concentraciones del orden de 0.005%

Fuente: *APRAIZ José. Aceros Especiales. p. 96*

1.4.1.2.2.3. Clasificación de los Aceros aleados

Los aceros aleados al igual que los aceros al carbono se les puede clasificar de diferente manera: de acuerdo con su utilización, aceros para herramientas, por su estructura microscópica, por su contenido de elementos de aleación y por su elemento de aleación.

1.4.1.2.2.3.1. De acuerdo con su utilización.[20]



- ***Aceros de gran resistencia.-*** A este grupo de aceros de gran resistencia pertenecen una serie de aceros aleados, que se usan para la construcción de piezas de máquinas y motores que deben tener resistencias variables entre 70 y 170 kg/mm^2.

  Los aceros de este grupo tienen de 0.25 a 0.45% de carbono, y como elementos de aleación se usan, principalmente, el cromo, el níquel y el molibdeno. En algunos casos, también se emplean como elementos aleados el

[20] APRAIZ B. José; Aceros Especiales; Op. Cit.; p. 56

manganeso, vanadio, silicio, wolframio, etc.; sin embargo, conviene señalar son los tres o alguno de los tres elementos, cromo, níquel y molibdeno, citados anteriormente; en la actualidad se fabrican diversos tipos de aceros al níquel, al cromo-níquel, cromo-molibdeno, manganeso-molibdeno, cromo-níquel-molibdeno, etc., con cantidades muy diversas de esos elementos de aleación.
La suma de los elementos de aleación no suele pasar del 5% y es frecuente que el contenido en cromo sea sólo de 1/3 a 1/5 del porcentaje de níquel, y el contenido en molibdeno muy bajo, generalmente de 0.10 a 0.30%, y sólo en casos excepcionales se llega a 0.60% de Mo.

Una de las clasificaciones de los aceros de gran resistencia es por la clase de elementos de aleación que contienen en: aceros al níquel, aceros cromo-níquel, aceros cromo-molibdeno, etc., y según otro criterio se pueden también clasificar estos aceros por el contenido y por la dureza que se llega alcanzar en: aceros muy duros (carbono superior a 0.45%); aceros semiduros (carbono de 0.35 a 0.45%); aceros normales (carbono de 0.30 a 0.35%), etc.

- ***Aceros Cementados.-*** Reciben el nombre de aceros de cementación, un grupo de aceros de bajo contenido en carbono (variable generalmente de 0.05 a 0.25%), que se utilizan para la fabricación de ciertas piezas de máquinas y motores que deben tener gran dureza superficial y buena tenacidad o resistencia al choque. Estas características al parecer opuestas entre sí, pueden obtenerse cementando la superficie de las piezas, es decir, carburando su zona periférica y dándoles luego a continuación el tratamiento térmico correspondiente. Las piezas así fabricadas pueden considerarse que en cierto modo están constituidas por dos aceros diferentes. Uno el de la zona interior de bajo contenido en carbono, tenaz y resistente, y otro el de la zona periférica de alto contenido en carbono, generalmente 0.80 a 1.10% de C, que después del temple y revenido queda con una dureza muy elevada.

  Para la fabricación de piezas cementadas se emplean aceros al carbono y aleados, existiendo muchas clases diferentes de aceros de cementación. Todos ellos, contienen de 0.05 a 0.25% de carbono aproximadamente. Entre

los diversos factores que deben tenerse en cuenta para la elección de uno u otro tipo de acero de cementación, los más importantes a considerar son: La forma o tamaño de las piezas que se van a fabricar junto con las tolerancias de dimensiones que se exigirán a las piezas después del temple (ya que en función de las tolerancias que se admiten en las deformaciones, se decidirá si el temple se debe hacer en agua, en aceite o por algún otro procedimiento y, en consecuencia, estas condiciones servirán, en gran parte, para señalar los elementos de aleación que debe tener el acero; la resistencia que deben tener las piezas en el núcleo central y el precio que se puede llegar a pagar por el acero.

Una de las clasificaciones que se pueden tomar en cuenta son por el tipo de acero en: aceros al carbono, aceros débilmente aleados y aceros d alta aleación.

- ***Aceros para muelles.-*** En numerosas máquinas y motores es necesario emplear resortes o ballestas que trabajan elásticamente absorbiendo esfuerzos y almacenando energía durante ciertos períodos de tiempo para devolverla después.

  El fundamento del funcionamiento de los muelles se basa en la propiedad que tienen algunos metales, y entre ellos el acero, de poder sufrir importantes deformaciones elásticas, es decir, alargamientos temporales mientras actúan ciertos esfuerzos, que desaparecen luego al cesar la causa que lo origina.

  Para que los resortes recobren su posición primitiva después de sufrir una deformación, es necesario que el material tenga un alto límite elástico, siendo fundamental que durante el funcionamiento del muelle el coeficiente de trabajo del material no llegue a sobrepasar ese límite de elasticidad. En condiciones ya de utilización, el límite de elasticidad a la tracción suele oscilar entre 90 y 180 kg/mm^2, según sea la utilización que se va a dar al muelle y según sea también su tamaño, medidas, la composición del acero y el tratamiento que se le dé.

Una de las clasificaciones que se les puede dar es por los elementos de aleación en: Aceros al carbono, aceros mangano-siliciosos, aceros al manganeso, aceros al cromo-manganeso, aceros al cromo-silicio, aceros al cromo-manganeso-vanadio.

- ***Aceros de Nitruración.-*** Reciben este nombre un grupo de aceros que tienen la propiedad de quedar con una gran dureza superficial después de permanecer dentro de un horno a temperatura relativamente elevada (unos 500º aproximadamente) en presencia de amoníaco disociado. Estos aceros utilizan para la fabricación de piezas que deben tener gran dureza en la capa periférica, y a la vez buena tenacidad en el núcleo.

  Por medio del tratamiento de nitruración se pueden conseguir capas superficiales de dureza excepcionales elevada, directamente, sin necesidad de ningún otro tratamiento térmico posterior (temple y revenido) como exige la cementación. Las piezas nitruradas cuando son sacadas del horno al terminar la nitruración, quedan ya con una dureza elevadísima. Se suelen conseguir durezas superficiales variables de 600 a 1100 Vickers, que dependen, principalmente, de la composición del acero que se ha empleado y que, en general, suelen ser más elevadas que las que se obtienen en las piezas cementadas. El espesor de la capa nitrurada y de la capa dura suele ser pequeño, inferior generalmente a 0.50mm y la resistencia en el núcleo central suele oscilar de 75 a 130 kg/mm^2. Todas esas características se consiguen empleando aceros de 0.25 a 0.50% de carbono, aleados con cromo, aluminio, molibdeno y vanadio.

  Los grupos de aceros de nitruración más utilizados en la actualidad son: Aceros cromo-aluminio-molibdeno con 0.80 a 1.20% de aluminio, 0.90 a 1.60% de cromo y 0.20% de molibdeno que llegan alcanzar entre 1000 y 1100 Vickers; aceros altos en cromo con molibdeno y vanadio. Aunque con estos aceros sólo se consiguen durezas superficiales comprendidas entre 800 y 850 Vickers, el contenido en cromo es de 3%, el molibdeno de 0.40 a 1% y el

vanadio de 0 a 0.25%; Aceros cromo-molibdeno-vanadio, se obtienen durezas superficiales de 750 Vickers, el contenido de cromo es de 2%; el molibdeno de 0.25% y el vanadio de 0.15%, en estos aceros la tenacidad sobresale la tenacidad.

- ***Aceros para la fabricación de chapa magnética.-*** Estos aceros se emplean en forma de chapa o fleje para la fabricación de núcleos o piezas de máquinas eléctricas y transformadores, que están sometidos a la acción de campos magnéticos que cambian rápidamente de valor. Para que esas máquinas eléctricas y transformadores puedan dar su máximo rendimiento, es necesario que las pérdidas de energía originadas por la acción de los campos magnéticos alternativos que actúan sobre las chapas de acero de los núcleos sean las más pequeñas posibles. Aunque para este fin, en la actualidad, el material más empleado es el acero de bajo contenido en carbono con 2 a 45% de silicio, también se emplea en algunos casos, aunque muy litigados, otros materiales como el hierro dulce de calidad corriente, el hierro Armco, el caro moldeado, la fundición, etc.

- ***Aceros y aleaciones para imanes.-*** En numerosos e instrumentos eléctricos, como galvanómetros, amperímetros, amplificadores, motores, interruptores, magnetos, etc., se utilizan imanes permanentes que se fabrican con aceros o aleaciones especiales, que tienen la propiedad de conservar durante mucho tiempo un fuerte magnetismo.

- ***Aceros austeníticos resistentes al desgaste.***- Para ciertas aplicaciones como bocas de dragas, mandíbulas, placas de molinos, trituradores, etc., interesa emplear materiales de gran resistencia al desgaste. Esas piezas se suelen fabricar con mucho éxito con un acero de Mn=12.5% y C=1.20%, que es austenítico a la temperatura ambiente. Aunque su dureza no es muy elevada, tiene una resistencia al desgaste extraordinaria, y para esos usos da mejores resultados que ningún otro acero.

1.4.1.2.2.3.1.1. Aceros para Herramientas

- ***Aceros rápidos.-*** La característica fundamental de estos aceros es conservar su filo en caliente, pudiéndose trabajar con las herramientas casi al rojo (600ºC) sin disminuir su rendimiento. En cambio, en los demás aceros, el corte al calentarse a temperaturas superiores a 300ºC, pierde gran parte de su poder cortante. Algunos composiciones típicas de aceros rápidos son: C=0.75%, W=18%, Cr=4% y V=1% y otra c=0.75%, W=18%, Co=5%, Cr=4% y V=1.25%.

- ***Aceros indeformables.-*** Reciben este nombre los aceros que en el temple no sufren casi deformaciones y con frecuencia después del temple y revenido quedan con dimensiones prácticamente idénticas a las que tenían antes del tratamiento. Esto se consigue empleando principalmente el cromo y el manganeso como elementos de aleación. Algunas composiciones típicas de aceros indeformables son: C=2% y Cr=12%, C=1% y Cr=5% y otra C=1% y Mn=1%.

- ***Aceros para trabajos en caliente.-*** Estos aceros, que se emplean con dureza inferior a todos los demás, deben tener gran tenacidad para resistir los continuos choques a que están sometidos, a la vez deben tener buena resistencia a los cambios bruscos de temperatura, ya que durante el trabajo sufren continuos y repetidos calentamientos y enfriamientos, que tienden a agrietar el acero. Con el empleo del wolframio en porcentajes variables de 4 a 9% y en pequeñas cantidades de cromo y molibdeno se obtienen los mejores resultados. Algunas composiciones típicas son las siguientes: C=0.30%. W=9% y Cr=3%; otra C=030%, W=4% y Cr=1%, y finalmente otra, C=0.32%, Cr=5%.

- ***Aceros al corte no rápidos.***- Con el nombre de aceros de corte no rápidos se agrupan varios aceros aleados, principalmente con cromo y wolframio, muy empleados para la fabricación de herramientas de corte que no deben trabajar en condiciones muy forzadas. Pueden considerarse como unas calidades

intermedias entre los aceros rápidos y los aceros al carbono, y la mayoría de las herramientas fabricadas con ellos suelen quedar con durezas comprendidas entre 60 y 66 HRC.

- ***Aceros para trabajos de choque y corte en frío.***- En las herramientas fabricadas con estos aceros, debe combinarse una dureza suficiente para el corte con una tenacidad aceptable para que no se rompan en los choques a que están sometidos. Se suelen emplear aceros aleados con cromo y wolframio. Algunas composiciones típicas son: C=0.55%, W=2%, Cr=1.25%; otra C=0.45%, W=2% y Cr=1.25%. Otro acero que para este fin se usa con éxito es el clásico acero de muelles mangano-silicioso de la siguiente composición: C=0.55%, Mn=0.80% y Si=1.70%.

1.4.1.2.2.3.1.2. Aceros Inoxidables[21]

La mayoría de los metales se oxidan, por ejemplo, la plata (Ag) se pone negra, el aluminio (Al) cambia a blanco, el cobre (Cu) cambia a verde y, ordinariamente, el acero cambia a rojo. En el caso del acero, el hierro (Fe) presente se combina con el oxígeno del aire para formar óxidos de hierro o “herrumbre”.

A principios del siglo XX algunos metalurgistas descubrieron que adicionando poco más de 10% de cromo (Cr) al acero, éste no presentaba “herrumbre” bajo condiciones normales; la razón de ello es que el cromo suele unirse primeramente con el oxígeno para formar una delgada película transparente de óxido de cromo sobre la superficie del acero y excluye la oxidación adicional del acero inoxidable. En caso de que ocurra daño mecánico o químico, esta película es auto-reparable en presencia de oxígeno

El acero inoxidable es esencialmente un acero de bajo carbono, el cual contiene un mínimo de aproximadamente 10% de cromo en peso. Éste es, pues, uno de los mayores adelantos tecnológicos en la historia de la metalurgia: el descubrimiento del verdaderamente limpio acero inoxidable.

[21] www.cendi.org.mx

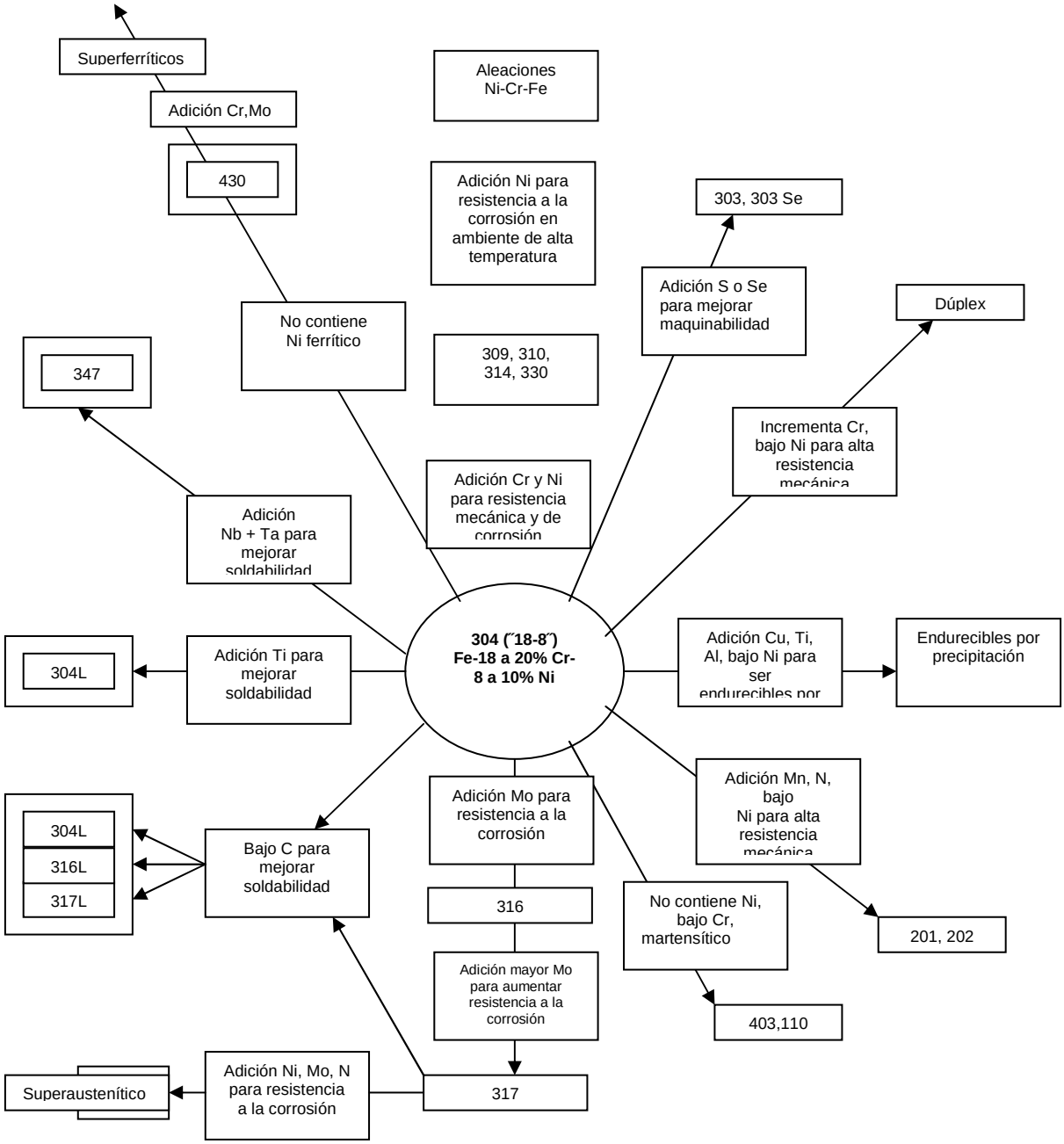


Fig. 1.14. Relaciones de composición y propiedades de los aceros inoxidables

Fuente: *www.cendi.org.mx*

El acero inoxidable puede ser clasificado en cinco diferentes familias; cuatro de éstas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: austenita, ferrita, martensita, y dúplex (austenita más ferrita); mientras que la quinta familia son las aleaciones endurecidas por precipitación, que están

basadas más en el tipo de tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina.

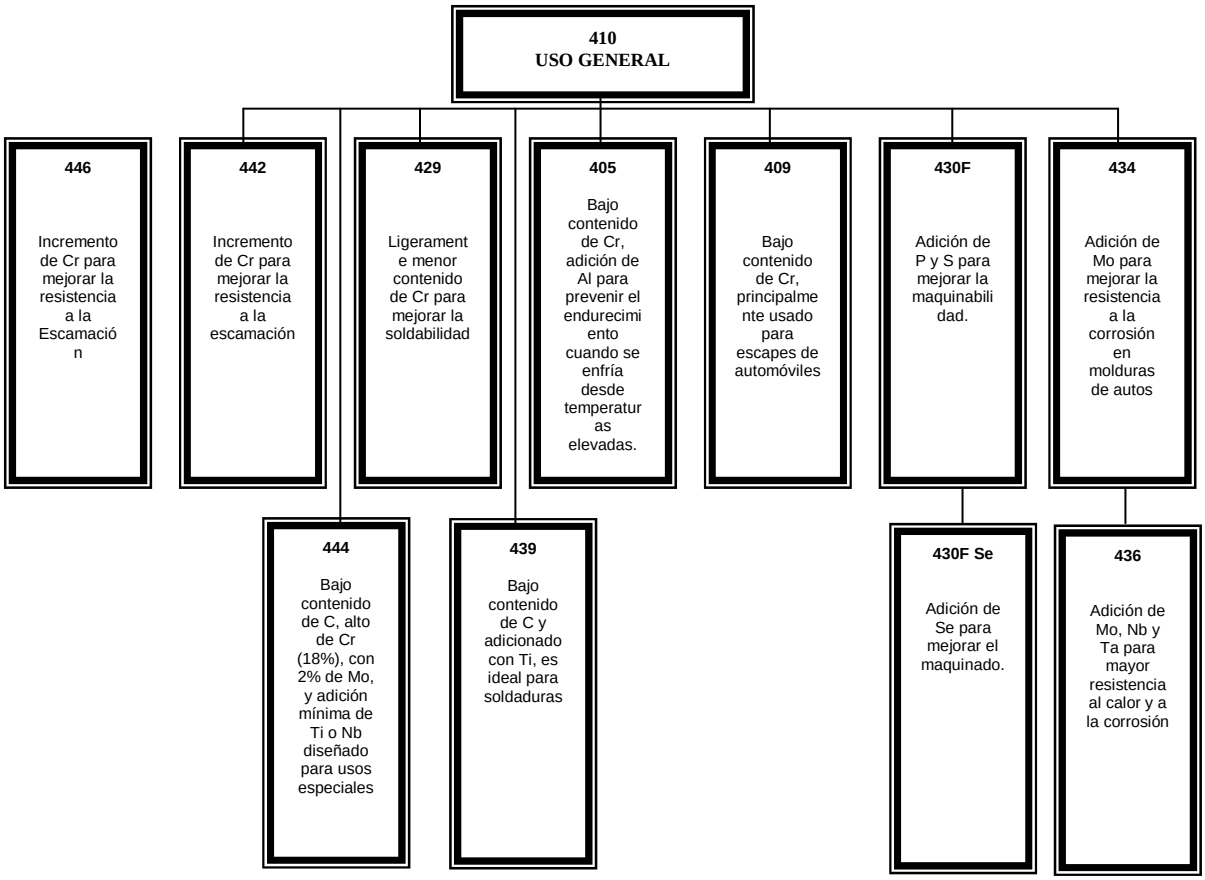
Tabla 1.4. Clasificación de los aceros inoxidables

Clase	Clasificación AISI	Ejemplos de especificaciones
I Martensíticos	SERIE 400	410, 420, 431
II Ferríticos		409, 430, 434
III Austeníticos	SERIES 200 Y 300	304, 304L, 321, 316
IV Dúplex	Se usa el nombre comercial	329, 2205
V Endurecibles por precipitación		17-4 PH, 15-5 PH, 17-7 PH, 15-7 MO

Fuente: *www.cendi.org.mx*

- ***Aceros Inoxidables Ferríticos.-*** Estos aceros inoxidables de la serie 400 AISI mantienen su estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión.

  La metalurgia básica como su nombre lo indica tienen una configuración metalográfica ferrítica con la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (bcc) que se mantiene estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión. El cromo inhibe la formación de austenita y promueve la formación de ferrita. Estos aceros son esencialmente aleaciones con cromo, cuyo contenido es usualmente del rango de 10.5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0.08% en relación con los martensíticos. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características.



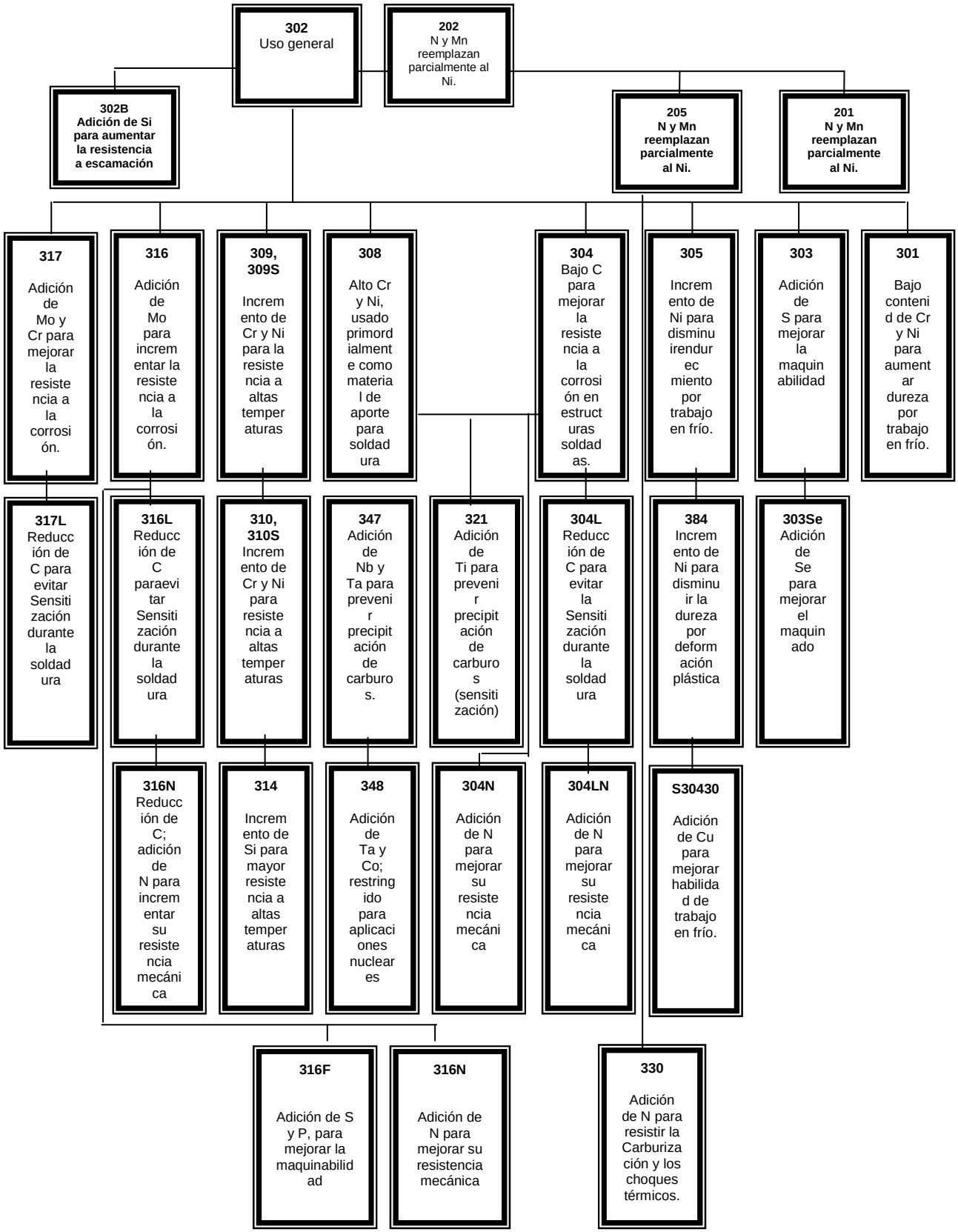
Cr-Cromo Fe-Hierro Se- Selenio Nb- Niobio Ta-Tantalio S-Azufre
Ti-Titanio Al- Aluminio C-Carbono Mo-Molibdeno P-Fósforo

Fig. 1.15. Familia de los aceros inoxidables ferríticos

Fuente: *www.cendi.org.mx*

- ***Aceros Inoxidables Austeníticos.-*** Los aceros inoxidables austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión.

  La metalurgia básica como su nombre lo indica, tiene configuración metalográfica austenítica. Esta estructura cristalina es cúbica centrada en las caras (fcc).



Ni-Níquel Cr-Cromo Mn-Manganeso Si-Silicio Nb-Niobio Ta-Tantalio Cu-Cobre
Ti-Titanio N-Nitrógeno C-Carbono Mo-Molibdeno S-Azufre Se-Selenio Co-Cobalto P-Fósforo

Fig. 1.16. Familia de los aceros inoxidables austeníticos

Fuente: *www.cendi.org.mx*

Esta familia de aceros se obtiene adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono se mantiene siempre muy bajo, en el rango de 0.03 a 0.08%. El cromo proporciona una resistencia a la oxidación y a la corrosión hasta temperaturas aproximadas de 650℃ en una variedad de ambientes. El níquel, y en menor extensión el manganeso, se adiciona a estos aceros para estabilizar la fase austenítica en un amplio rango de temperaturas y evitar así su transformación en martensita cuando son enfriados rápidamente a temperatura ambiente.

- ***Aceros Inoxidables Martensíticos.-*** Los aceros inoxidables martensíticos son la primera rama de los aceros inoxidables simplemente al cromo. Fueron los primeros que se desarrollaron industrialmente y representan una porción de la serie 400 AISI. Los aceros inoxidables martensíticos son esencialmente aleaciones de cromo y carbono cuya principal característica es su habilidad para aumentar su resistencia mecánica y dureza mediante tratamiento térmico que produce martensita. El contenido de cromo es generalmente en el rango de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2%. El contenido de Cr y C está balanceado para asegurar la formación de la estructura martensítica durante el tratamiento térmico.

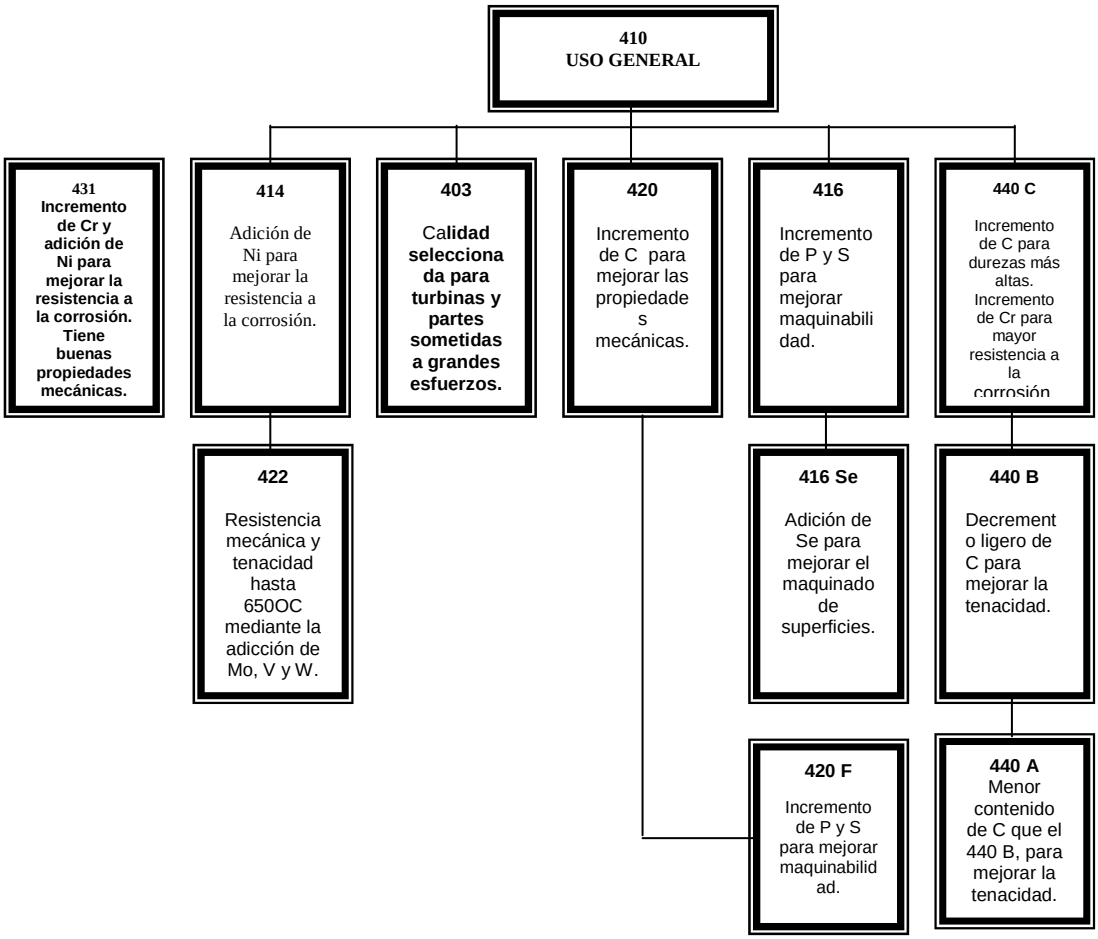


Fig. 1.17. Familia de los aceros inoxidables martensíticos

Fuente: *www.cendi.org.mx*

- ***Aceros Inoxidables Dúplex.-*** Los aceros inoxidables dúplex son los de más reciente desarrollo; son aleaciones cromo-níquel-molibdeno que forman una mezcla de cantidades aproximadamente iguales de austenita y ferrita.

  Los aceros inoxidables dúplex presentan dos fases: dispersión de austenita fcc en una matriz de ferrita bcc. La cantidad exacta de cada fase está en función de la composición y el tratamiento térmico. Los principales elementos de aleación son cromo y níquel, sin embargo la cantidad de níquel es insuficiente para desarrollar completamente la estructura cristalina austenítica. El contenido de cromo varía del 18 al 26%, y el contenido de níquel de 4.5 a 6.5%. La adición de elementos como nitrógeno, molibdeno, cobre, silicio, y tungsteno permite controlar el balance en la configuración metalográfica, así como impartir ciertas características de resistencia a la corrosión.

- ***Aceros Inoxidables endurecibles por precipitación.-*** Este tipo de aceros inoxidables se desarrolló a escala industrial después de la Segunda Guerra Mundial, como una alternativa para elevar las características de resistencia mecánica mediante tratamientos térmicos de envejecimiento. Estos aceros se denominan “endurecibles por precipitación” o PH (precipitation hardening) y ofrecen una alternativa a los aceros inoxidables austeníticos cuando se desee asociar elevadas características mecánicas y de maquinabilidad.

  Los aceros inoxidables endurecibles por precipitación son aleaciones hierro-cromo-níquel que se caracterizan por la resistencia mecánica obtenida a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. Estos grados se pueden clasificar en función de su estructura en estado de recocido y del comportamiento resultante tras el tratamiento de envejecimiento, como austeníticos, semi-austeníticos o martensíticos. Los aceros endurecibles por precipitación están patentados y frecuentemente se les designa con las siglas de la empresa productora.

1.4.1.2.2.3.2. Por su estructura microscópica.

- ***Aceros perlíticos.-*** Además de los aceros al carbono, pertenecen también a este grupo los aceros de baja y media aleación. Se caracterizan porque en el enfriamiento al aire desde elevada temperatura (750 – 900ºC), cuando se trata de perfiles de espesor superior de 25mm, la transformación de la austerita en otros constituyentes ocurre en la zona de 600º a 700º C y en el examen microscópico se observa la presencia de perlita y ferrita o de perlita y cementita. El temple de estos aceros suele hacerse con enfriamiento en agua o en aceite, según el espesor.

- ***Aceros martensíticos.-*** Aceros clásicos de este grupo son los llamados aceros de temple al aire, como los cromo-níquel (C = 0.35%; Cr = 1%, Ni = 4%), o cromo-níquel-molibdeno empleados para la construcción de engranajes, y los aceros al cromo inoxidables de C = 0.30%; Cr = 13%. En estos aceros en el enfriamiento al aire desde elevada temperatura (1050 –

800ºC), la austerita se transforma en la zona de 20 – 350ºC, apareciendo en la microestructura un gran porcentaje de martensita. El temple de estos aceros suele hacerse al aire o en aceite, según el espesor.

- ***Aceros austeníticos.-*** Los aceros más importantes de este grupo son los aceros cromo-níquel inoxidables 18-8 y los 12-12; 25-20; 20-12, etc., y también el acero de 12% de manganeso. En estos aceros al ser enfriados desde elevada temperatura (900º a 1100ºC), la mayor parte de la austerita queda sin transformar. En estos aceros el tratamiento de austenización se suele hacer con enfriamiento al aire cuando se trata de perfiles muy pequeños o con enfriamiento en agua o en aceite cuando se trata de grandes espesores, para tener seguridad de que la estructura que se obtiene es totalmente austenítica, y evitar que aparezcan otros constituyentes diferentes.

- ***Aceros ferríticos.-*** Reciben este nombre ciertos aceros cuya estructura es normalmente ferrítica. Entre los aceros de esta clase, de uso más frecuente, se encuentran los aceros inoxidables al cromo de bajo contenido en carbono (0.10% a 0.30%) y elevado contenido de cromo generalmente superior al 16% y ciertos aceros al silicio de más de 3% de este elemento, empleados para usos eléctricos. En estos aceros se puede considerar que el constituyente microscópico único es la ferrita y en ellos no se puede alcanzar el estado austenítico por calentamiento a elavada temperatura, por lo que como es imposible realizar el temple. Estos aceros pertenecen a una clase especial que exige muchos cuidados en los procesos de transformación y que poseen propiedades muy particulares.

1.4.1.2.2.3.3. Por su contenido de elementos de aleación

Tabla 1.5. Clasificación de los aceros aleados atendiendo su contenido de elementos de aleación

Aceros Aleados	
Tipo de Acero	***Descripción***
Aceros de baja % de aleación	Cuando la suma de los porcentajes de los elementos de aleación es menor al 5%
Aceros de alto % de aleación	Cuando la suma de los porcentajes de los elementos de aleación es mayor al 5%

Fuente: *Apuntes Tratamientos Térmicos*

1.4.1.2.2.3.4. Por su elemento de aleación

- ***Aceros al aluminio.-*** El aluminio se emplea como elemento de aleación en los aceros de nitruración, que suelen contener 1% aproximadamente de aluminio. También se usa el aluminio en algunos aceros resistentes al calor.

- ***Aceros al cromo.-*** El cromo aumenta la dureza, elasticidad, resistencia al roce, y resistencia a la tracción. Por otra parte, favorece la cementación porque facilita la penetración del carbono, y hace más fina la estructura cristalina.

  Se emplean aceros con 4% de cromo para la fabricación de herramientas para máquinas herramientas de lata velocidad de corte. Con proporciones superiores a 10% de cromo, el acero se hace inoxidable quiere buena resistencia al calor y a los agentes químicos ácidos. Se emplea para la construcción de rodamientos, hileras y válvulas de motores.

- ***Aceros al cobalto.-*** El cobalto confiere al acero gran dureza y buena resistencia. Para la fabricación de herramientas (aceros rápidos) de más alta calidad, capaces de trabajar a altas velocidades de corte, se emplean aceros con contenidos del 3 al 10% de cobalto.

- ***Aceros al manganeso.-*** Existen en la actualidad dos tipo de aceros al manganeso que se caracterizan por el contenido de manganeso que amplía la

región austenítica, el primero es el que contienen entre 0.3 y 0.7% Mn, son tratables térmicamente es decir se endurecen con temple obteniendo la martensita

Y los aceros Hadfield que contienen un 14% de Mn que son endurecibles por deformación es decir que su transformación a martensita ocurre cuando existe un trabajo de conformado mecánico, los inconvenientes de este tipo de acero es de que no es maquinable, en sus aplicaciones podemos mencionar las siguientes: Muelas de molinos, cuchillas de tractores, cadenas de tractores de oruga y rodillos, rieles y ruedas de ferrocarril. Las propiedades típicas son: resistencia a la tensión: 120000 lb/pulg^2 (828 Mpa); resistencia a la fluencia: 50000 lb/pulg^2 (345 Mpa); porcentaje de elongación: 45; BHN: 160. Este acero se emplea ampliamente en equipo de minería y en equipo para movimiento de tierra y en componentes para carriles de ferrocarril.

- ***Aceros al molibdeno.-*** El molibdeno mejora sensiblemente las características mecánicas acero y su resistencia al desgaste y corrosión a altas temperaturas, aceros al molibdeno se emplean para la construcción de cañones de fuego y ametralladoras, así como para válvulas de motores térmicos.

- ***Aceros al Níquel.-*** El níquel tiene gran influencia sobre las propiedades físicas, mecánicas y tecnológicas del acero: aumenta la resistencia a la tracción, aumenta la dureza, aumenta la resistencia a la corrosión, disminuye el coeficiente de dilatación térmica, rebaja los puntos críticos de transformación, permitiendo el templado y recocido a temperaturas más bajas, con menor peligro de sobrecalentamientos, decarburación u oxidación (esta propiedad permite reducir el consumo de combustible y alargar la vida del horno), disminuye la velocidad crítica del templado, naciendo posible el temple en aceite en lugar de agua, con menor peligro de tensiones internas , deformaciones y roturas de piezas tratadas.

  Según sea el contenido en níquel, se distinguen los siguientes tipos de acero: de cementación: 3% aprox. De Ni, de construcción: 3.5%, autotemplable: 5%

Inoxidable: 25%, antimagnético: 28%.

- ***Aceros al plomo.-*** El plomo facilita el mecanizado del acero ne las máquinas herramientas. Los aceros al plomo, conocidos también con el nombre de los aceros automáticos, se emplean en la producción con los tornos automáticos de grandes series de pequeñas piezas.

  El plomo, en cantidades variables entre 0.1 y 1.3%, no se combina hierro ni con los demás componentes, manteniéndose difundido en la masa metálica en forma de pequeñísimas partículas sin alterar las propiedades mecánicas del acero.

- ***Aceros al cobre.-*** El cobre se suele emplear para mejorar la resistencia a la corrosión de ciertos aceros de 0.15 a 0.30% de carbono, que se usan para grandes construcciones metálicas. Se suelen emplear contenidos en cobre variables de 0.40 a 0.50%.

- ***Aceros al silicio.-*** El silicio siempre existe en los aceros, en proporciones que oscilan 0.2 y 2%, superando 1%, el acero se vuelve duro y difícilmente mecanizable con las herramientas de corte. Se emplea para la construcción de muelles, y con contenidos entre 2 y 4%, para núcleos de transformadores.

- ***Aceros al wolframio.-*** El wolframio (tungsteno) es uno de los principales componentes de los aceros rápidos y extrarápidos para útiles de máquinas herramientas. Son aceros con buena resistencia a la tracción y al desgaste, incluso a temperatura elevada.

- ***Aceros al vanadio.-*** El vanadio, por tener gran afinidad con el oxígeno, actúa como desoxidante. Los aceros al vanadio se pueden forjar en caliente, pero no en frío y son difíciles de soldar. El vanadio se emplea como elemento adicional en los aceros rápidos para herramientas.

- ***Aceros al azufre.-*** El azufre, en cantidades inferiores a 0.15% y en presencia del manganeso forma el sulfuro de manganeso que confiere al acero de buenas cualidades para ser forjado.

- ***Aceros al cromo-níquel.-***Los aceros al cromo-níquel son muy duros, tenaces y resistentes a la corrosión y al calor. Sus características medias, después de templados y revenidos, son: R = ~120 kg/mm^2; E=~10%; HB = 350.

  Son muy empleados en la construcción de cigüeñales, bielas, pistones de motores de combustión interna, engranajes. Tienen especial importancia en los aceros al cromo-níquel inoxidables, que pueden ser semiferríticos o austeníticos.

  Los *inoxidables semiferríticos* contienen, como media C<0.2%; Ni=1.5%; Cr=15%; tienen alta tenacidad y resistencia a la tracción, resistentes en los ambientes corrosivos a alta temperatura, admiten ser laminados en frío y se pueden soldar. Se emplean en turbinas de vapor, en maquinaria para la industria química, y para órganos muy solicitados, tales como cigüeñales y bielas, en ambiente corrosivo.

  Los *inoxidables austeníticos* contienen, como media C=0.20%, Cr=18%, Ni=8%; conocidos corrientemente con el nombre de acero 18/8. Son tenaces, dúctiles y maleables, se sueldan muy bien, y tienen óptima resistencia a la tracción incluso a temperaturas elevadas. Son muy resistentes a la corrosión. Tienen un amplio campo de utilización: industrias químicas, navales, aeronáuticas, automovilísticas, instrumentos quirúrgicos, aparatos científicos, válvulas de escape de motores térmicos, turbinas de vapor y de gas, etc.

- ***Aceros al cromo-molibdeno.-*** Tiene buena resistencia mecánica y discreta soldabilidad. Sus características medias, después del templado y revenido son: R = 90 kg/mm^2, E=8%, HB = 300. Se emplean en la construcción de piezas para aviones, cigüeñales y cilindros de motores térmicos.

- ***Aceros al cromo-níquel-molibdeno.***- Estos aceros pueden considerarse como los mejores, pues a su gran dureza añaden gran resistencia a la tracción, tenacidad y elasticidad. Después del temple y revenido, sus características medias son: R=150 kg/mm^2, E= 8%, HB= 450 (templado al aire a 850ºC). Se emplean para cigüeñales en condiciones de trabajo duras, engranajes, bielas y piezas de motores de aviación.

1.4.2. MATERIALES NO FERROSOS

Las aleaciones férreas son ampliamente usadas en ingeniería dado que ellas tienen una gran cantidad de propiedades mecánicas, pueden ser fabricadas relativamente fáciles y son económicas de producir masivamente. Sin embargo ellas tienen algunas limitaciones tales como: relativamente alta densidad, comparativamente baja conductividad eléctrica, inherente susceptibilidad a la corrosión en algunos ambientes comunes.

1.4.2.1. Cobre y sus Aleaciones[22]

El cobre y sus aleaciones poseen una combinación de propiedades físicas que han sido utilizados en múltiples aplicaciones desde la antigüedad. El cobre puro es dúctil y suave, tanto que es difícil de maquinar, también tienen una capacidad casi ilimitada para ser trabajado en frío. Además es altamente resistente a la corrosión en diversos ambientes incluyendo el ambiente atmosférico, agua de mar, y algunos químicos industriales. Las propiedades de resistencia mecánica y a la corrosión del cobre se pueden mejorar por aleaciones. La mayoría de las aleaciones de cobre no pueden ser endurecidas o tensionadas por procedimientos de tratamientos térmicos por lo que trabajos en frío y/o aleaciones de soluciones sólidas deben utilizarse para mejorar esas propiedades mecánicas.

[22] http://html.rincondelvago.com/aleaciones-de-cobre-y-niquel.html

1.4.2.1.1. Latón (Cu + Zn + otros elementos)

La aleación de cobre más común es el latón en la cual el zinc como impureza sustitucional es el elemento aleante más importante, por cuanto, contienen típicamente entre 5 y 45% de Zn y eventualmente otros elementos como: Pb, Sn, Mn, Al, Fe, Si, Ni y As, los cuales en pequeñas proporciones mejoran propiedades específicas.

1.4.2.1.1.1. Latón Rojizo

Es tipo de latón tiene hasta el 16% de Zn, por cuanto, es trabajable en deformación en caliente, así como, alta maquinabilidad y fluidez líquida. Entre sus aplicaciones se puede mencionar las válvulas de gas, accesorios de gas (neplo, uniones, codos, etc), válvulas para agua (grifería FV) y algunos elementos para forjado.

1.4.2.1.1.2. Latón Amarillo

Este tipo de latón tiene la mayor utilización comercial, entre sus propiedades están $\in = 42\%$, $\sigma = 40\,kpsi$, tiene mayor resistencia que el anterior tipo de latón y su campo de deformación que son sus aspectos importantes de selección. Entre las aplicaciones están los casquillos de bala, en los intercambiadores de calor como los tubos y aletas, los paneles solares, etc.

1.4.2.1.2. Bronces

Los bronces son aleaciones de cobre con estaño, aún cuando se les suele utilizar más ampliamente para otras aleaciones de cobre. Las aleaciones industriales de bronce tienen en general entre 3 y 20 % de Sn. La fusión del bronce debe ser hecha en un medio reductor para desoxidar antes de la colada, esto se logra mediante el fosfuro de cobre, por lo tanto, todos los bronces retienen un 0,03 a 0,1 % de P.

1.4.2.1.2.1. Bronce de laminación

A continuación se nombrarán los tipos más importantes de bronces para laminación:

- ***Bronces binarios.***- Utilizados principalmente para la laminación en frío, la fase d debe ser muy limitada, por eso estos bronces contienen entre 2 y 9 % de Sn. Las principales aleaciones son: $CuSn_4P$, $CuSn_6P$ y $CuSn_9P$. Son muy adecuados para la laminación en frío, pero no así para la laminación en caliente, por esto se prefiere producirlos a partir de coladas continuas de alambrones o de bandas delgadas que luego se laminan en frío.

- ***Bronces fosfóricos.-*** Estos latones tienen de 0,1 a 0,2 % de P, con el cual se produce Cu_3P, éste aumenta la dureza y la resistencia al desgaste del bronce.

- ***Bronces al Zinc.***- La adición de 4 a 10 % de Zn disminuye la proporción de fase δ, mejorando la maleabilidad de la aleación pero disminuyendo la resistencia al desgaste. Si además se agrega un 4% de Pb mejoran las propiedades de mecanizado.

1.4.2.1.2.2. Bronce de fundición

Contienen de un 4 a un 13 % de Sn con adiciones de Zn, Pb y P.

- ***Bronces binarios.***- Las características mecánicas de estas aleaciones dependen de la cantidad de fase δ, al aumentar esta fase disminuyen la tensión máxima y el alargamiento a la ruptura. Las aleaciones $CuSn_{12}$ y $CuSn_8$ son excelentes para ser moldeadas.

- ***Bronces al plomo.***- A estas aleaciones se les agrega hasta un 7% de plomo para mejorar la aptitud para el mecanizado. Con porcentajes entre 6 y 30% de plomo, como por ejemplo las aleaciones $CuSn_5Pb_{20}$ y $CuSn_{10}Pb_{10}$, se mejora

la resistencia del bronce a la fricción, usándose principalmente para bujes o cojinetes.

- ***Bronces al zinc y al plomo.***- Si se agrega Zn como desoxidante en el metal líquido, mejora la moldeabilidad de la aleación. Estos bronces se usan en grifería de agua a presión, en grifería de vapor y en piezas que deben ser estancas al petróleo y gasolina. La estanqueidad es provista por el plomo. Principales aleaciones de este tipo son: $CuSn_5Pb_5Zn_5$, $CuSn_7Pb_6Zn_4$.

1.4.2.2. Aluminio y sus Aleaciones[23]

Se caracterizan por una baja densidad (2.7 g/cc comparada con 7.9 g/cc del acero), altas conductividades eléctricas y térmicas y resistencia a la corrosión en algunos ambientes incluyendo el atmosférico. Son muy dúctiles y ello es aprovechado para conformarlos fácilmente tales como las técnicas de enrollado. Su estructura interna FCC permite que su ductilidad se mantenga aun a temperaturas baja. La principal limitación del aluminio es su baja temperatura de fusión (660ºC) lo cual restringe su uso por debajo de esta temperatura. La resistencia mecánica del aluminio se puede alcanzar por trabajo en frío o por aleaciones, sin embargo ambos procesos tienden a disminuir su resistencia a la corrosión. Los principales elementos aleantes son Cu, Mg, Si, Mn, y Zn.

Entre las aleaciones de aluminio pueden subdividirse en dos grupos, aleaciones para forja y aleaciones para fundición, de acuerdo con el método de fabricación. Las aleaciones para forja, que se conforman mediante deformación plástica, tienen composiciones y microestructuras significativamente diferentes de las aleaciones para fundición, lo cual refleja las diferentes condiciones del proceso de manufactura. Dentro de cada grupo principal las aleaciones se dividen en dos subgrupos: aleaciones tratables térmicamente y aleaciones no tratables térmicamentes.

[23] CALLISTER William; Op. Cit.; p. 178

Se usan en partes de aviones, recipientes para gaseosas enlatadas, cuerpos de buses y partes de automóviles (pistones)

1.4.2.3. Magnesio y sus Aleaciones[24]

Debido a que la característica más importante del magnesio es la densidad (1.7 g/cc), la cual es la mas baja de los metales estructurales, sus aleaciones se usan donde el bajo peso es una consideración importante, por ejemplo en componentes de aviones. El Mg tiene una estructura hexagonal compacta, es relativamente suave y tiene un modulo elástico bajo. A temperatura ambiente el Mg y sus aleaciones son difíciles de deformar, de hecho solo pequeños grados de trabajo en frío pueden lograrse sin tratamientos de temple. Consecuentemente, la mayoría de su fabricación se produce por colado o trabajo en caliente entre 200 y 350ºC. El magnesio así como el aluminio tiene bajo punto de fusión (651ºC). Químicamente el magnesio es relativamente inestable y especialmente susceptible a la corrosión en ambientes marinos. Pero a atmósfera normal presenta buena resistencia a la corrosión o a la oxidación.

El polvo de magnesio fino se enciende fácilmente cuando se calienta en aire por lo que hay que manipularlo con cuidado. Los principales elementos aleantes son Al, Zn, Mn y algunas tierras raras.

1.4.2.4. Titanio y sus Aleaciones[25]

Son aleaciones relativamente nuevas que poseen una extraordinaria combinación de propiedades. El metal puro tiene una relativamente baja densidad (4.5 g/cc) y alto punto de fusión (1668ºC) y alto modulo elástico. Las aleaciones de titanio son extremadamente fuertes y altamente dúctiles y fácilmente forjadas y maquinadas. La principal limitación del titanio es su reactividad química con otros materiales a elevadas temperaturas, Esto hace necesario el desarrollo de técnicas no convencionales de refinado, fusión y colado. Consecuentemente las aleaciones

[24] CALLISTER William; Op. Cit.; p. 178
[25] Ibid.; p. 380

de titanio son muy costosas. A temperatura ambiente la resistencia a la corrosión del titanio es inusualmente alta. Ellas son virtualmente inmunes al ambiente marino, y una amplia variedad de ambientes industriales. Son comúnmente usadas en estructuras de aeroplanos, vehículos espaciales y las industrias químicas y del petróleo.

1.4.2.5. Metales Refractarios[26]

Los metales que tienen muy altas temperaturas de fusión son llamados refractarios. Se incluyen aquí el Nb, Mo, W, y Ta. El rango de temperatura de fusión está entre 2468ºC para el Nb y 3410 ºC para el W. El enlace atómico en estos metales es extremadamente fuerte, lo cual se refleja en las temperaturas de fusión y adicionalmente en un alto modulo elástico y alta resistencia y dureza tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas. A manera de ejemplo, el Ta y el Mo son aleados con aceros inoxidables para mejorar su resistencia a la corrosión. Las aleaciones de molibdeno se utilizan para boquillas o troqueles de extrusión y partes estructurales en vehículos espaciales. Las aleaciones de W se emplean en filamentos de luces incandescentes, tubos de rayos X y electrodos de soldadura. El Ta es inmune al ataque químico a casi todos los ambientes a temperaturas por debajo de 150ºC y se usa frecuentemente en aplicaciones que requieran esas resistencias a la corrosión.

1.4.3. MATERIALES CERÁMICOS

Los compuestos químicos constituidos por metales y no metales (óxidos, nitruros y carburos) pertenecen al grupo de las cerámicas, que incluyen minerales de arcilla, cemento y vidrio. Por lo general se trata de materiales que son avilantes eléctricos y térmicos y que a elevada temperatura y en ambientes agresivos son más resistentes que los metales y los polímeros. Desde el punto de vista mecánico, las cerámicas son duras y muy frágiles.

---

[26] CALLISTER William; Op. Cit.; p. 380

En general, son frágiles, su resistencia a la tracción va desde 100 psi (0.69 MPa), hasta 106psi (7 x 103MPa). Pero en general pocos cerámicos alcanzan los 25ksi. La resistencia a la compresión es en general de 5 a 10 veces mayor que la resistencia a la tracción. Su dureza depende del tipo de cerámico, siendo poca para cerámicos tradicionales y muy alta para cerámicos de ingeniería (herramientas de corte) y su resistencia al impacto es en general muy baja. Este carácter débil de resistencia al impacto se debe a su unión iónica -covalente,

1.4.3.1. Vidrios[27]

Se denominan vidrios a unas sustancias duras, frágiles y generalmente transparentes, formadas por soluciones sólidas de silicatos, resultantes de la solidificación progresiva, sin trazas de cristalización. De mezclas homogéneas e sílice (SiO_2), que actúa como ácido y óxidos que actúan como bases.

Tabla 1.6. Clases de Vidrios

Clasificación		Aplicaciones
Sólo sílice como ácido	Vidrio sodo-cálcicos	Vidrierias Aparatos químicos Botellas
	Vidrios sodo-cálcico-alumínicos	Botellas e cerveza y vino, por su insolubilidad
	Vidrios potásico-cálcicos (Vidrio Bohemia)	Aparatos de química que se calientan
	Cristales de potasa-plomo (cristal flint glass)	Óptica Botellas Adorno
Sílice y otros ácidos	Vidrios de boro-silicato (Crown glass)	Óptica Tubos termométricos
	Cristal boto-silicato (Strass)	Imitar piedras preciosas Esmaltes Óptica
	Vidrios de fósforo	
Sin Sílice	Vidrios de borato	Óptica
	Vidrios de fosfato	Óptica
Silicatos Simples de sílice y álcali	Vidrios solubles en el agua	
Vidrio de cuarzo	Sílice pura	

Fuente: *LASHERAS Esteban. Materiales Industriales. p. 827*

[27] LASHERAS Esteban; Materiales Industriales; Zaragoza: S/E; 1981; p. 825

La composición de los vidrios se expresa indicando los porcentajes en peso de los óxidos que lo componen, empezando por la sílice (SiO_2) y el anhídrido bórico (B_2O_3), que se consideran como los elementos vitrificantes por excelencia, por su tendencia a solidificar en estado vidrioso, propiedad que se hace extensiva a sus sales y mezclas de sus sales. Los principales óxidos que forman el vidrio son los siguientes: SiO_2, B_2O_3, Al_2O_3, Na_2O, K_2O, MgO, CaO, F_2O_3, BaO, PbO.

1.4.3.2. Refractarios[28]

Se consideran un material refractario cuando resiste sin fundirse no reblandecerse a temperaturas iguales o superiores a los 1500ºC. Esta resistencia al reblandamiento se denomina resistencia giroscópica.

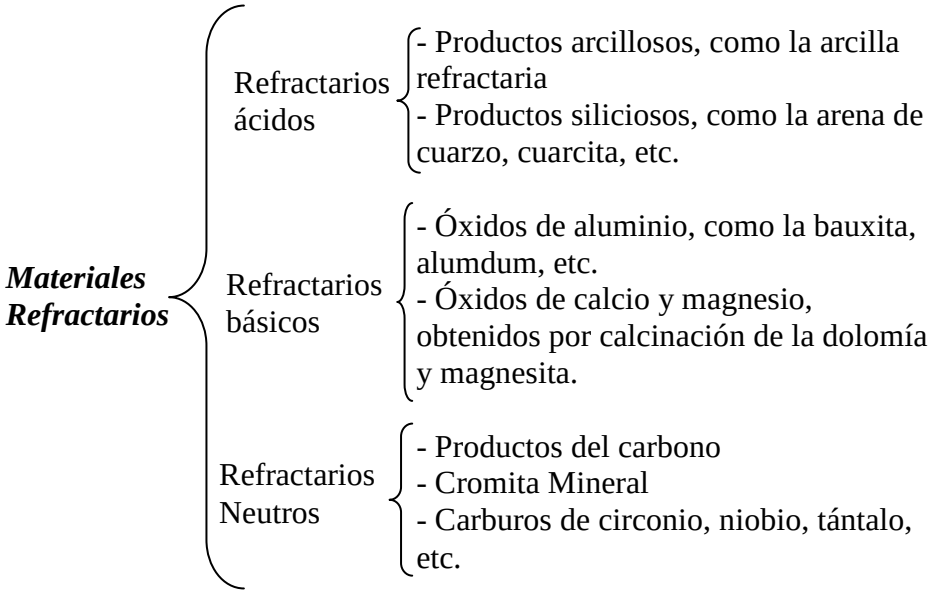
Los materiales refractarios han de reunir las siguientes características:

- Han de resistir in reblandamiento apreciable temperaturas lo más elevadas posibles.
- Han de resistir también choques térmicos, es decir, variaciones bruscas de temperaturas.
- Deben tener resistencia mecánica en frío.
- Deben tener resistencia mecánica en caliente
- Las variaciones de dimensiones de los refractarios que adquieran permanentemente en su utilización deben ser lo más reducidas posible.
- Deben resistir la agresión de los metales fundidos, de las escorias y los gases que produzcan en los hornos.
- La porosidad tiene también una gran importancia en la calidad de refractarios, puesto que la corrosión química se favorece a medida que aumenta la porosidad.

[28] LASHERAS Esteban; Op. Cit.; p. 831

1.4.3.2.1. Clases de refractarios

La clasificación más racional de los refractarios es la que se realiza atendiendo a su carácter químico, pues facilita su selección. Así, clasifican en tres clases: ácidos, básicos y neutros.



Los refractarios ácidos comunes incluyen a la arcilla refractaria, o sea los cerámicos de sílice-alúmina. La sílice pura es un buen material refractario y se usa para contener metal derretido.

Las arcillas refractarias son típicamente vítreas. Sin embargo, en las de alta alúmina se forman cantidades sustanciales de mulita, permitiendo que los refractarios tengan una combinación de resistencia a la alta temperatura a la vez que alta dureza y elevadas propiedades mecánicas.

Los refractarios básicos incluyen la periclasa (MgO puro), la magnesita (rica en MgO), la dolomita (MgO más CaO) y la olivita (Mg_2SiO_4). Los refractarios básicos son más costosos que los refractarios ácidos.

Los refractarios neutros incluyen la cromita y la cromita-magnesita. Estos materiales pueden ser usados para separar refractarios ácidos y básicos, puesto que estos últimos se atacan entre sí.

Otros materiales refractarios son la zirconio (ZrO_2), el zircón ($ZrO_2 \bullet SiO_2$) y una diversidad de nitruros, carburos, boruros y grafito.

1.4.3.3. Productos de Arcilla[29]

Muchas cerámicas están basadas fundamentalmente en la arcilla, a la cual se añade un material más grueso como el cuarzo, y un material fundente como el feldespato. Los feldespatos son un grupo de minerales que comprende al $(K,Na)_2^o \bullet Al_2O_3 \bullet 6Si\ O_2$. Estos materiales se mezclan con agua y se forman un producto, el cual es secado y horneado después. Los altos contenidos de arcilla mejoran las características de conformabilidad, permitiendo la producción de cuerpos cerámicos más complicados.

Los ladrillos y las losetas o mosaicos son comprimidos o extruidos para darles forma; después se secan y hornean para una aglutinación de cerámico. La loza de barro está conformada por cuerpos de arcilla porosa horneada a temperaturas relativamente bajas. La porcelana requiere de temperaturas de horneado aún mayores para lograr una vitrificación completa.

1.4.3.4. Cerámicas eléctricas y magnéticas[30]

Los materiales cerámicos presentan una gran variedad de propiedades eléctricas y magnéticas útiles. Algunas cerámicas, incluyendo al SiC, pueden servir como resistores y elementos calefactores para hornos. Otros Materiales cerámicos tienen un comportamiento semiconductor y se usan como termistores y rectificadores.

---

[29] ASKELAND Donald; Op. Cit.; p. 318
[30] Ibíd.; p. 321

Otro grupo de cerámicas que incluyen al titanato de bario, muestran un excelente comportamiento dieléctrico, piezoeléctrico y ferroeléctrico. En particular, las propiedades piezoeléctricas del titanato de bario lo hacen un material conveniente para capacitores y trasductores.

Muchas de las arcillas tienen excelentes características avilantes. Generalmente, los avilantes eléctricos deben tener poca porosidad; por eso las arcillas que están completamente vitrificadas, como la porcelana o el vidrio, se usan como aislantes eléctricos para altos voltajes. Sin embargo, cuando se necesita una alta resistencia eléctrica a altas temperaturas y altas frecuencias, como en las bujías de los automóviles, la alúmina cristalina es más eficaz.

1.4.3.5. Materiales pirocerámicos[31]

Algunas características poco usuales se obtienen cuando la desvitrificación de un vidrio puede controlarse para hacer que nucleen y crezcan muchos pequeños cristales. La primera etapa del tratamiento es la de calentar el vidrio a una temperatura baja, de modo que se formen muchos núcleos dentro del vidrio. Después de que ha ocurrido la nucleación, la temperatura se eleva para promover el crecimiento de los núcleos en forma de cristales.

1.4.3.6. Esmaltes y vidriados[32]

Los esmaltes y los vidriados se añaden a la superficie para hacer impermeables las cerámicas, para darles protección, para decorarlas, o con propósitos especiales. Los esmaltes y los vidriados también pueden aplicarse a los metales. Tales productos son arcillosos que se vitrifican fácilmente durante el horneado. Una composición común es $CaO \bullet Al_2O_3 \bullet 2SiO_2$.

[31] ASKELAND Donald; Op. Cit.; p. 321
[32] Ibíd.; p. 322

1.4.3.7. Escorias y fundentes[33]

Cuando los metales son fundidos o refinados, se producen óxidos que flotan en la superficie del metal fundido en forma de escoria. Estos materiales ayudan a purificar o refinar el metal una vez que la composición de aquellos se ajusta adecuadamente. En consecuencia, los fundentes cerámicos se añaden a la escoria por varias razones:

- Reducir la temperatura de fusión de modo que la escoria sea más fluida.
- Asegurarse de que se produce una buena acción de refinación; por ejemplo, el CaO y el CaF quitan el azufre del acero fundido y de los hierros fundidos.
- Para asegurar que no sean atacados para contener metal, los óxidos ácidos como el SiO_2 o el Al_2O_3 pueden ser añadidos para asegurarse de que la escoria líquida es también ácida y compatible con el refractario.

1.4.4. MATERIALES POLIMÉRICOS

Los polímeros comprenden materiales que van desde los familiares plásticos al caucho. Se trata de compuestos orgánicos, basados en el carbono, hidrógeno y otros elementos no metálicos, caracterizados por la gran longitud de las estructuras moleculares. Los polímeros poseen densidades bajas u extraordinaria flexibilidad.

1.4.4.1. Plásticos[34]

Se denominan plásticos a una gran número de productos de origen orgánico y de alto peso molecular, que son sólidos en su estado definitivo, pero que en alguna etapa el proceso de su fabricación son suficientemente fluidos para moldear los por calor y presión.

---

[33] ASKELAND Donald; Op. Cit.; p. 322
[34] LASHERAS Esteban; Op. Cit.; p. 755

1.4.4.1.1. Constitución de los plásticos. Resina base

Los plásticos están constituidos por una resina básica que es la verdadera sustancia plástica, a la que se añaden una serie de compuestos químicos denominados aditivos, que modifican o refuerzan las propiedades de la resina.

Las resinas básicas de los plásticos se componen de grandes moléculas, formadas por la reunión de cientos de moléculas más pequeñas, que deben poseer por lo menos un enlace doble, de ciertos compuestos químicos denominados monómeros.

La reunión de moléculas de los monómeros puede realizarse fundamentalmente por tres procedimientos: Por polimeración, por copilimeración y por policondensación

La polimeración consiste en el encadenamiento de las moléculas de los monómeros por uno o más de los enlaces de éstos, bajo la influencia del calor, o más generalmente de algún cuerpo que actúa de catalizador, estas, a su vez tienen una estructura ramificada.

La copolimeración se da al mezclar los monómeros, y polimerizar la mezcla, obteniéndose un copolímero con excelentes cualidades. La copolimerización es uno de los procedimientos más empleados en la tecnología de los plásticos, pues permite obtener materiales de características sobresalientes, estas, a su vez puede ser lineal ó ramificada

Y finalmente la policondensación, por lo cual, se lo denominó así porque en la operación se desprenden algunas moléculas, generalmente de agua. También la policondensación puede ser lineal y en red o ramificada

1.4.4.1.2. Propiedades de los plásticos

La más destacada propiedad de los plásticos es la plasticidad tan elevada que adquieren a la temperatura de moldeo, que permite obtener piezas perfectas por complicadas que sean.

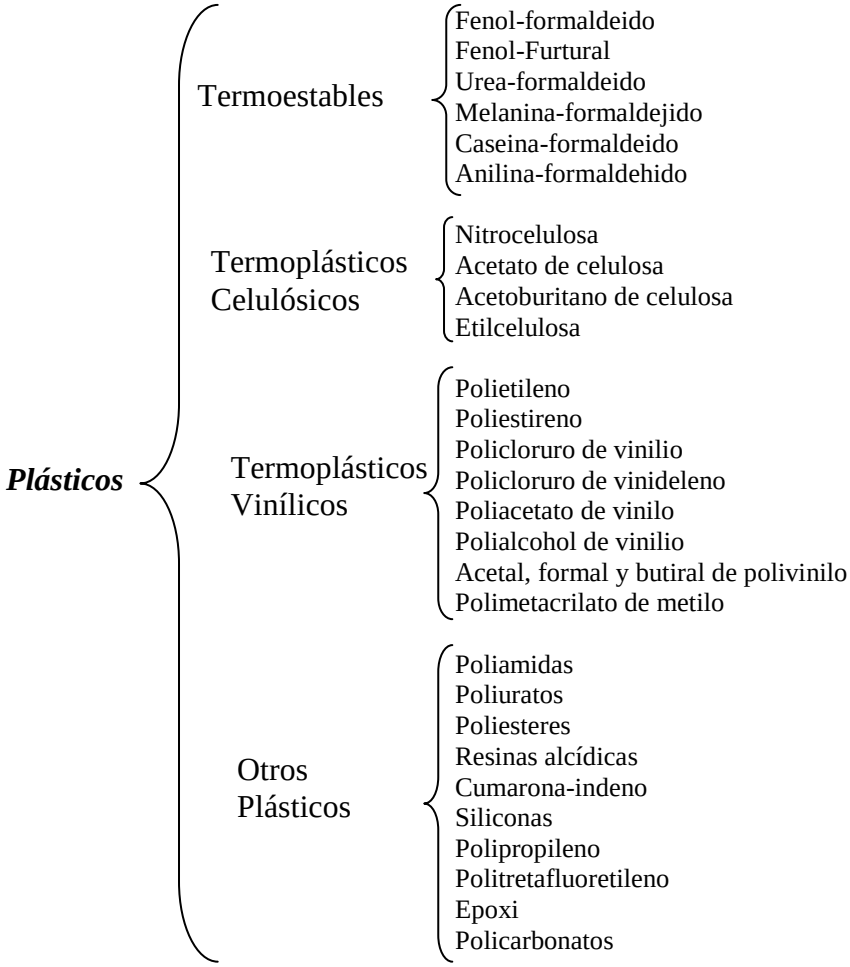
Otra buena cualidad de la mayoría de los plásticos es la facilidad con que pueden colorearse y el buen aspecto de las piezas moldeadas, que hace innecesaria ninguna operación de acabado, en la mayoría de los casos.

Los plásticos son, en general, muy ligeros y muy buenos aislantes de la electricidad y del calor. Reblandecen entre los 70º y 200ºC, y se descomponen entre los 300º y 500ºC. Su coeficiente de dilatación es muy elevado, de una a treinta veces más alto que el del acero (12×10^{-4}), lo que debe tenerse en cuenta para el proyecto de piezas, que deben ir ajustadas con las de otros materiales.

La resistencia mecánica de los plásticos, a la tracción, es más bien modesta, de 4 a 10 kg/mm^2 y además, los plásticos resisten bastante bien a los agentes atmosféricos y el ataque de los ácidos.

1.4.4.1.3. Clasificación de los Plásticos

Los plásticos se acostumbran a clasificar en dos grandes grupos: Los termoplásticos, que son los que se reblandecen con el calor cuantas veces se calientan y los termoestables, que son los que una vez moldeadas las purezas ya no se reblandecen por el calor.



1.4.4.1.3.1. Termoestables

Las resinas termoestables se obtienen, salvo en fenol-furtural, que es la menos importante, de la reacción de policondensación del formaldehído con otro compuesto químico, con el fenol, la urea, etc.

1.4.4.1.3.2. Termoplásticos celulósicos

Los plásticos derivados de la celulosa son todos termoplásticos, es decir, que reblandecen con el calor cuantas veces se calientan y constituyen el grupo más antiguo de esta clase de plásticos.

Todos los plásticos de este grupo se producen partiendo de la celulosa como materia prima fundamenta, que se obtiene generalmente de los linters de algodón,

que son las fibrillas que quedan adheridas a las cáscaras de los frutos de algodón y que están compuestos aproximadamente de 94% de celulosa.

1.4.4.1.3.3. Termoplásticos vinílicos

Los plásticos basados en las resinas vinilicas son todos termoplásticos y forman una larga serie en constante aumento e importancia.

Un ejemplo de aquello es el polietileno que es un material que es obtenido de la polimerización del etileno (C_2H_4) blanco y muy ligero, muy flexible, de propiedades eléctricas excelentes e inatacable por los ácidos y álcalis e insensible a la corrosión atmosférica y a la humedad. Se utiliza para la fabricación de utensilios de cocina, piezas industriales y para el revestimiento de cables eléctricos.

1.4.4.1.3.4. Otros Plásticos

Un ejemplo de este grupo es la poliamida, más conocida por el nombre comercial de nylon; presenta en escamas blancas se densidad 1.06, que funden a 250ºC. Sus propiedades eléctricas son excelentes, siendo también muy destacadas sus propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión. Otro ejemplo es el poliuretano que tiene la forma de espumas rígidas y flexibles. Las espumas rígidas se utilizan para la construcción de sillas, mesas, etc., en sustitución de la madera; para la construcción de embarcaciones ligeras y salvavidas. Las espumas flexibles se utilizan para la fabricación de colchones, cojines, embalajes, para aislamiento de vibraciones, etc.

El poliéster se utiliza generalmente en forma de copolímeros con estireno u otro monómero vinílico, dando un material termoestable que se emplea laminado y reforzado con fibra o tejido de vidrio. El poliéster se emplea para la fabricación de carrocerías de automóviles, cascos de embarcaciones ligeras, estuches de aparatos, bandejas para usos domésticos, etc.

1.4.4.1.3.5. Cauchos o hules (Elastómeros)

El caucho es un hidrocarburo poletilénico de fórmula $(C_3H_8)_n$, que se encuentra en un 27 a 40% en un líquido de aspecto lechoso denominado por esta razón látex, que se extrae de determinadas plantas. El caucho tiene una densidad de 0.91, su conductividad calorífica es muy baja así como su conductividad eléctrica.

El caucho natural tiene dos defectos fundamentales: Carece de plasticidad suficiente para modelarlo y es muy sensibles a los agentes atmosféricos: se oxida con el oxígeno del aire, envejece con la luz, se hace pegajoso y blando con el calor y se endurece con el frío.

1.4.4.1.3.5.1. Principales tipos de cauchos sintéticos

Tabla 1.7. Tipos de cauchos sintéticos

Grupo	Naturaleza Química
Polímeros de diolefinas	- Polibutadienos - Polidinmetilbutadienos - Copolimeros butadieno-estiroleno - Copolimeros butadieno-nitrilo acrílico - Policloroprenos y copolimeros - Poliisoprenos
Polímeros de Monoolefinas	- Copolimeros isobutileno-isopreno - Polietileno modificado - Poliacrilatos y copolimeros
Polímeros de policondensación	- Polisulfurosos orgánicos - Poliésteres - Poliésteres modificados - Siliconas

Fuente: *LASHERAS Esteban. Materiales Industriales. p. 748*

La aplicaciones del caucho son: par la fabricación y reparación de neumáticos, para la fabricación de artículos moldeados de caucho, para la fabricación de artículos de caucho por inmersión, disolución de caucho, cauchaje de tejidos, calzados de caucho y artículos para el mismo, para la fabricación de artículos en general, etc.

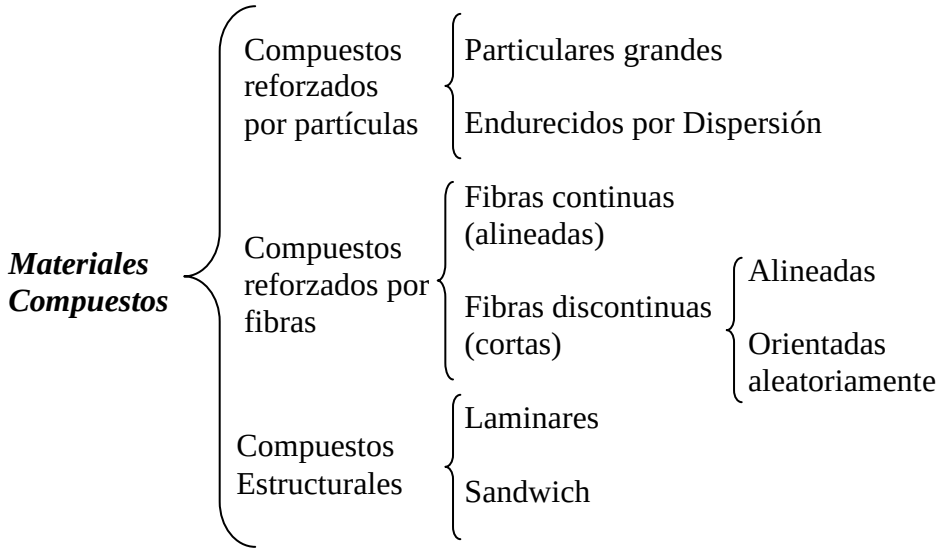
1.4.5. MATERIALES COMPUESTOS[35]

Se han diseñado materiales compuestos formados por más de un tipo de material. La fibra de vidrio, que es vidrio en forma filamentosa embebido dentro de un material polimérico, es un ejemplo familiar. Los materiales compuestos están diseñados para alcanzar lo mejor combinación de las características de cada componente. La fibra de vidrio es mecánicamente resistente debido al vidrio, y flexible debido al polímero. La mayoría de los materiales desarrollados últimamente son materiales compuestos. Un material compuesto está formado por dos o más materiales los cuales al combinarse forman una estructura mucho más resistente que la estructura de cualquiera de sus componentes aislados.

El material compuesto más simple está formado por dos componentes: la matriz que sirve como sustancia de aglutinamiento y la fase dispersa o material de refuerzo. Las propiedades del material compuesto dependen de las propiedades de las fases que lo conforman, sus cantidades relativas y la geometría de la fase dispersa.

1.4.5.1. Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos pueden clasificarse de esta manera:



[35] ASKELAND Donald; Op. Cit. p. 365

1.4.5.2. Descripción de cada tipo de Material Compuesto

Se describirán cada tipo de material compuesto como son: compuestos reforzados por partículas grandes, compuestos reforzados endurecidos por dispersión, compuestos reforzados con fibras, compuestos avanzados, compuestos laminares, compuestos con estructuras de tipo emparedado y compuestos híbridos.

1.4.5.2.1. Compuestos Reforzados por partículas grandes

El término “grande” indica que las interacciones entre las partículas y la matriz no pueden describirse en el nivel atómico o molecular. Para muchos de estos materiales, las partículas son más duras y más rígidas que la matriz. Estas partículas restringen el movimiento de la fase matriz en las cercanías de la partícula.

Un ejemplo más común de este tipo de compuestos es el concreto que está compuesto por cemento (matriz), y arena y grava (partículas). Otro son los contactos eléctricos de interruptores y relevados deber tener una buena combinación de resistencia al desgaste y conductividad eléctrica, de otro modo, los contactos se erosionan provocando un contacto deficiente y un arco eléctrico.

Entre los polímeros un ejemplo clásico es el negro de carbono (o de humo) en el hule de vulcanizado, el negro de carbono mejora la resistencia, la rigidez, la dureza, la resistencia al desgaste y la resistencia al calor del hule.

Y por último los moldes y los corazones usados para las fundiciones metálicas consisten con frecuencia, de granos de arena de sílice unidos por una matriz de resina orgánica. Los granos de arena son materiales refractarios y aislantes que no reaccionan con el metal fundido.

Las partículas pueden tener un rango amplio de geometrías, sin embargo deben tener aproximadamente las mismas dimensiones en todas las direcciones. Para

que el esfuerzo sea efectivo, las partículas deben ser pequeñas y distribuidas uniformemente a lo largo de la matriz.

1.4.5.2.2. Compuestos Reforzados endurecidos por dispersión

El tamaño de la partícula en los compuestos endurecidos por dispersión es muy pequeño con diámetro de $100\,\text{A}$ *a* $2500\,\text{A}$. Debido a que las partículas pequeñas obstaculizan el movimiento de las dislocaciones, producen un efecto pronunciado de endurecimiento. Sólo se requieren pequeñas cantidades del material disperso.

Un ejemplo clásico sea el del polvo de aluminio sinterizado o compuesto PAS. El material PAS tiene una matriz de aluminio endurecida hasta con 14% de Alúmina. El compuesto puede ser formado a través de metalurgia de polvos; se mezclan los polvos de aluminio y alúmina, se compactan a elevadas presiones y se sinterizan.

1.4.5.2.3. Compuestos reforzados con fibras

Estos compuestos mejoran la resistencia al esferazo, la resistencia a la fatiga, la rigidez y la relación resistencia-peso, a través de la introducción de fibras, rígidas y frágiles dentro de una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras y proporciona ductilidad y tenacidad, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza aplicada.

Un ejemplo de compuestos reforzados con fibras continuas es la fibra de vidrio que se aplica para el transporte y aeroespaciales, las fibras hechas de boro, grafito y polímeros proporcionan un refuerzo excepcional. Aún los diminutos monocristales de materiales cerámicos llamados whiskers, bigotes ó triquitas han sido desarrollados para este objeto.

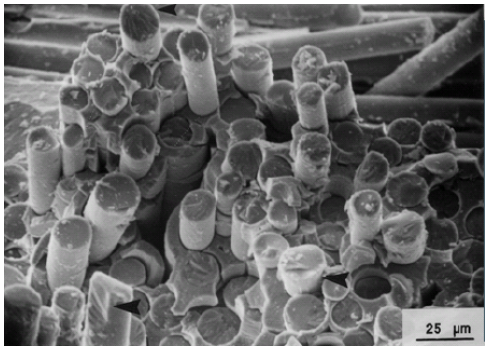


Fig. 1.18. Micrografía óptica del compuesto reforzado con fibras de vidrio. 1000X

Fuente: *http://www.utp.edu.co/~publio17/*

Uno de los ejemplos que se pueden mencionar como fibras discontinuas es el nylon reforzado con fibras de carbono con una relación de 30 tiene una resistencia a la tracción de 16000 psi; fibras más largas con una relación de aspecto de 800 producen una resistencia de 35000 psi.

1.4.5.2.4. Compuestos avanzados

Los compuestos de carácter avanzados se refieren a las aplicaciones en donde se requieren combinaciones excepcionalmente buenas de resistencia, rigidez y ligereza, como en la aeronáutica. Los compuestos avanzados utilizan normalmente fibras de boro, grafito ó kevlar, tanto en materiales poliméricas como en matrices metálicas, y en consecuencia tiene mucha mejor resistencia a las cargas y a la fatiga que la fibra de vidrio o las aleaciones de alta resistencia.

1.4.5.2.5. Compuestos Laminares

Los compuestos laminares incluyen recubrimientos muy delgados, superficies protectores mas gruesas, revestimientos, elementos bimetálicos o bimetales, laminados y muchos otros. Muchos compuestos laminares son diseñados para mejorar la resistencia a la corrosión mientras se mantiene un bajo costo, alta resistencia o bajo peso. Otras aplicaciones importantes incluyen una superior resistencia al desgaste o abrasión, una mejor apariencia y características poco

usuales de expansión térmica. Para producir los compuestos se usan una gran variedad de procesos de manufactura, como el laminado, la soldadura por explosión, la extrusión, la compresión y la soldadura.

1.4.5.2.6. Compuestos con estructuras de tipo emparedado (sándwich)

Los materiales emparedados tienen capas delgadas de un material expuesto (o aparentemente) unidas con un material ligero de relleno, como la espuma plástica. Ni el relleno ni el material expuesto son fuertes o rígidos, pero el compuesto posee ambas propiedades.

Un ejemplo conocido es el cartón corrugado. A un centro de papel corrugado se le pega por ambas caras una capa de papel grueso. Ni el papel corrugado ni el papel de las caras son rígidos, pero su combinación sí lo es. Otro ejemplo importante es la estructura en panal utilizada en las aeronaves. Puede producirse un panal pegando entre sí tiras delgadas de aluminio en sitios apropiados. El material del panal es desplegado o expandido para producir un panel celular de muy baja densidad que por sí mismo es inestable. Cuando se pega una hoja de aluminio a cada lado del panal, se obtiene un emparedado muy rígido, fuerte y excepcionalmente ligero.

1.4.5.2.7. Materiales Compuestos Híbridos[36]

Son materiales relativamente nuevos. Comparten dos o más tipos de fibras en una matriz única. Tienen mejor combinación de propiedades que los materiales compuestos con un solo tipo de fibra. Fibras usadas (carbono y vidrio), embebidas en una matriz polimérica

[36] http://www.utp.edu.co/~publio17/

1.5. TRATAMIENTOS TÉRMICOS[37]

Los tratamientos térmicos tienen por objeto mejorar las propiedades y características de los aceros, y consisten en calentar y mantener las piezas o herramientas de acero a temperaturas adecuadas, durante un cierto tiempo y enfriarlas luego en condiciones convenientes. De esta forma, se modifica la estructura microscópica de los aceros, se verifican transformaciones físicas y a veces hay también cambios en la composición del metal.

El tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlos siempre de antemano, de acuerdo con la composición del acero, la forma y el tamaño de las piezas y las características que se desean obtener.

1.5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS[38]

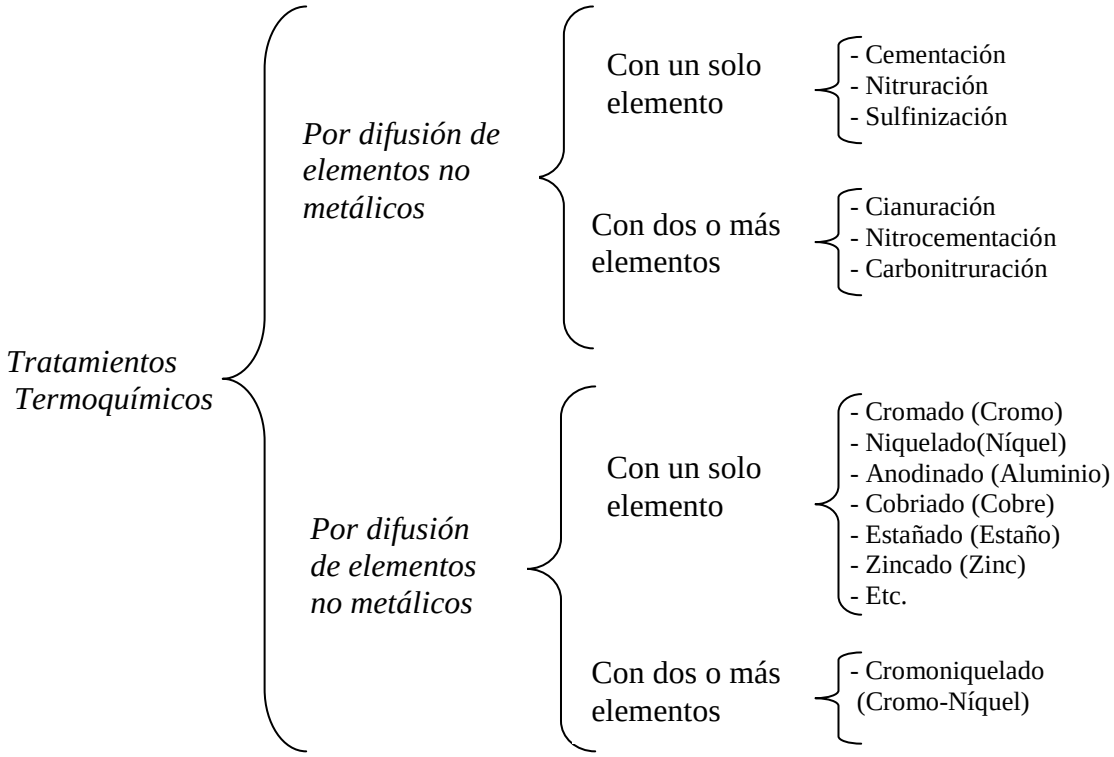
- ***Tratamientos Térmicos***
  - Recocido
    - Difusivo (Homogenización)
    - Completa o de regeneración
    - Incompleta (globulares)
    - Isotérmico
    - Esferoidizante
    - Recristalización
    - De Relajación (Alivio de Tensiones)
  - Normalizado
  - Templado
    - En un solo Medio
    - Programado
    - Escalonado
    - Isotérmico
    - Con Autorevenido
    - A Tº subcero
    - Superficial
      - Flameado
      - Corrientes de alta frecuencia
      - Rayo Láser
  - Revenido
    - Baja temperatura
    - A temperatura mediana
    - Alta temperatura

[37] APRAIZ B. José; Tratamientos Térmicos; Op. Cit.; p. 69
[38] RUIZ Rodrigo; Folleto de Tratamientos Térmicos; Quito: E.P.N.; p. 32

1.6. TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS[39]

En esta clase de tratamientos, además de considerar el tiempo y la temperatura como factores fundamentales, hay que tener también en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. Estos tratamientos se suelen utilizar para obtener piezas que deben tener gran dureza superficial para resistir el desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

1.6.1. CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS



[39] APRAIZ B. José; Tratamientos Térmicos de los Aceros; Op. Cit.; 74

CAPÍTULO II

2. PREÁMBULO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES EN EL ECUADOR

2.1. TENDENCIAS DEL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES A NIVEL MUNDIAL

En épocas remotas del hombre, los materiales que se han usado, han sido parte fundamental en el desarrollo de este, se anota los siguientes: piedra, bronce, hierro; siendo en la actualidad la época en donde el rango de los materiales se cataloga como inmenso y su evolución ha sido tan rápida y el rango de sus propiedades muy variado.

"Para los años 60 los "materiales de ingeniería" era sinónimo de "metales", pero desde la época hasta nuestros días todo ha cambiado."[40], las consideraciones tomadas en esta época permiten anotar los siguientes aspectos: la velocidad de desarrollo de las nuevas aleaciones metálicas es baja, la demanda de acero y hierro fundido a declinado, las industrias de polímeros y materiales compuestos y las proyecciones de desarrollo de los nuevos cerámicos crecen rápidamente.

El uso de materiales se encuentra vinculado a la producción industrial contemporánea con la demanda de un desarrollo de productos; dicho uso se encuentra determinado por materiales con propiedades determinadas y selección de procedimientos que se adaptaría al éxito económico de los productos.

Al existir nuevas líneas generales de producción, la conformación de los materiales más seguros, ligeros y resistentes y combinados con la economía óptima de recursos origina los denominados "Nuevos Materiales", los mismos que resultan de un control óptimo de su micro estructura o la combinación de diversos materiales, entre estos tenemos:

[40] CARDENAS Víctor; Breve Visión de la Tecnología de los Materiales en el Ecuador; p. 4

- Aleaciones metálicas resistentes a altas temperaturas.
- Metales amorfos.
- Cerámicas técnicas.
- Polímeros especiales.
- Materiales compuestos

Toda esta gama de materiales constituyen desarrollos mayores de los métodos de análisis tanto macroscópicos y microscópicos de las propiedades mecánicas, físicas, químicas y tecnológicas, de igual forma para los procedimientos para alterar o modificar estas propiedades, la tendencia del desarrollo actual posee consideraciones como son: el costo ambiental, la utilización y la disposición final del producto en función de su reciclaje, degradación o eliminación, donde las regulaciones internacionales en cuanto al destino final y proceso de fabricación del material hacen posible el respetar y conservar el medio ambiente.

En general la Ciencia de Materiales se preocupa por la creación de nuevos materiales y el mejorar sustancialmente las propiedades de los materiales tradicionales, el desarrollo de la llamada Ciencia, Tecnología y Selección de los Materiales, se prevé para años posteriores se caracterizará por lo siguiente:

- "Tendencia a sustituir los materiales metálicos y sus aleaciones por plásticos, cerámicos y compuestos." [41]

  Por sus bajos costos y durabilidad, la idea es pretender elevar la resistencia mecánica y las propiedades anticorrosivos de los aceros en condiciones extremas (altas temperaturas, presiones y medios altamente corrosivos), variando la microestructura en base de la sustitución de algunos elementos aleantes tradicionales, disminución del tamaño de grano y tratamientos termomecánicos, intensificando el uso de los aceros esferoidizados y colados en forma continua para la fabricación de elementos de máquinas.

[41] CARDENAS Víctor; Op. Cit.; p. 4

- Incremento del uso de metales y aleaciones ligeras.

  Principalmente el Aluminio y sus aleaciones (Al-Zn-Mg-Cu, Al-Zn-Mg) Principales en la fabricación de elementos de máquinas de la industria automotriz y aeronáutica, en donde se intensifica la investigación de las aleaciones superplásticas con elevada resistencia a la corrosión; ampliando y profundizando el conocimiento y la tecnología del tratamiento térmico de envejecimiento de las aleaciones ligeras.

- El uso de materiales poliméricos y crómicos en la Industria.

  Para la fabricación de ciertos elementos de máquinas por su menor peso específico y costo, relacionándolo con los materiales metálicos, se ha encontrado la necesidad de crear y continuar con nuevos métodos de análisis microscópicos y macroscópicos de estos; a la vez ir conjugando procesos tecnológicos innovadores de conformación y tratamiento de los mismos.

- Utilización de microprocesadores.

  El utilizar microprocesadores en los tratamientos térmicos se encuentran reforzando de tal manera que maximizan la eficiencia de los sistemas y controlan de manera correcta los procesos; siendo por láser, haz de electrones, por inducción en atmósferas controladas o al vacío, siendo los más utilizados, adicionando un uso frecuente a los medios refrigerantes poliméricos y compuestos orgánicos solubles en agua.

- Perspectivas de Desarrollo del Conformado Mecánico.

  En lo que se refiere a las perspectivas de desarrollo del Conformado Mecánico sin arranque de viruta, se estima un repunto del estampado para confeccionar piezas de partes críticas, las mismas que se considerará como un reemplazo a las forjadas y fundidas, que tendrán menor peso y tamaño, enfatizando en el conformado de materiales superplásticos para la fabricación de piezas de formas complicadas pero que serán de gran importancia a la fabricación de alambres multifilamentarios y superconductores en base de vanadio y germanio.

- La tecnología de soldadura.

  "Este tipo de tecnología Incrementará los procesos automáticos y semiautomáticos, de tal manera que se mejorará la composición de los electrodos" [42], incluyendo no solo la calidad de la soldadura, sino debilitando su dependencia en las habilidades del operador, el láser dentro de los procesos de soldadura poseerá mayores aplicaciones, al igual que el ultrasonido para el control de calidad.

- Investigación propiedad de los materiales compuestos.

  Se realizará una investigación exhaustiva de las propiedades de los materiales compuestos, creando así nuevos procesos de conformado de estos.

- Incorporación de la Tecnología en los procesos.

  La tecnología posee un papel fundamental incorporando de esta manera la Informática y Robótica en el análisis de los procesos internos de los materiales y procesos de conformado de los mismos.

- Tratamientos Superficiales.

  "Los tratamientos superficiales tenderán a ser reemplazados por los recubrimientos plásticos." [43]

- Procesos nuevos de conformado

  "Se crearán nuevos procesos de conformado para los materiales plásticos, cerámicos, compuestos y polvos metálicos." [44]

- Importancia al Reciclaje de Materiales.

  "Se dará mucha importancia al reciclaje de los materiales debido a que escasean en el mercado ciertos elementos químicos que juegan un papel preponderante en las aleaciones. "[45]; los materiales compuestos además de ser utilizados en la industria aeronáutica son utilizados en la industria

---

[42] CARDENAS Víctor; Op. Cit. p. 6
[43] Ibíd.; p. 9
[44] Ibíd.; p. 9
[45] Ibíd.; p. 9

automovilística, donde la Visón a largo plazo de Estados Unidos es sacar al mercado automóviles hechos sobre la base de materiales compuestos; existiendo pautas tales como:

- Ventajas:
  - Disminución de la masa, economía en el combustible, mejoramiento en sus propiedades de explotación, gran resistencia a la corrosión.
  - Unificación de piezas, disminución de los gastos de producción.
  - Disminución del ruido y la vibración, elevación de la confortabilidad.
  - Disminución de los peligros en una catástrofe automovilística.
  - Un gasto menor en maquinaria para la fábrica.

- Problemas:
  - La creación de procesos a altas velocidades para confeccionar piezas de materiales compuestos.
  - Creación de fábricas de reconstrucción de piezas de materiales compuestos y de tratamiento de desperdicios.

- "Problemas de mayor incidencia en la ciencia y tecnología de los materiales:" [46]
  - Investigar las propiedades y microestructura de un material compuesto.
  - Crear una nueva teoría de la Resistencia de materiales.
  - Automatizar la fabricación de piezas de materiales compuestos y miramiento de su calidad.

Tomando en cuenta que ha futuro la población incrementará un nivel de respaldo y confianza en la ciencia y tecnología, es así como era de producción se esforzará para mejorar la calidad del medio ambiente y fundamentalmente y se preocupará de manera directa a la calidad de vida; en base a un gran dinamismo en los modelos de producción y consumo; así como la disponibilidad, la utilización y la preservación de los materiales, enfatizando en la investigación de las propiedades útiles preferentes materiales altamente puros y a los compuestos.

[46] CARDENAS Víctor; Op. Cit. p. 10

El objetivo fundamental de preservar los materiales es incidir en el ciclo de vida de los mismos de tal manera que los desechos lleguen a ser material de potencia concluida.

2.1.1. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE MATERIALES A NIVEL MUNDIAL

- "Materiales metálicos y compuestos de matriz metálica, aleaciones no ferrosas, superaleaciones, compuestos de matriz metálica y compuestos intermetálicos." [47]

- Materiales para aplicaciones
  - Magnéticas: imanes de tierras raras, imanes unidos mediante polímeros.
  - Ópticas: materiales ópticos con índice de transmisión variable.
  - Eléctricas: conductores metálicos endurecidos por envejecimiento, conductores poliméricos, materiales piezoeléctricos y de superconductividad a altas temperaturas.

- Materiales no metálicos para altas temperaturas, materiales fibrosos y cerámicas mejoradas en durabilidad.

- Polímeros y compuestos de matriz orgánica, mezclas poliméricas, polímeros con aditivos y compuestos orgánicos.

- Materiales para aplicaciones especializadas:
  - Biomateriales: materiales compuestos para implantes y ligamentos ortopédicos, materiales bioabsorbibles y histocompatibles.
  - Materiales de embalaje y envasado.
  - Multimateriales: materiales de multicapas.

- Garantizar el proceso y el producto: innovando métodos mejorados para la observación de materiales, caracterización de defectos, mejora de la

[47] CARDENAS Víctor; Op. Cit. p. 11

capacidad de vigilancia, condiciones de uso mediante sensores optimizados y métodos de inspección en soluciones líquidas.

- Técnicas de tratamiento de superficies: modificación de las superficies mediante recubrimientos y otros métodos.

- Técnicas de moldeo, montaje y unión por técnicas de control para montaje, conformado y unión de materiales compuestos y multicapas, mejorando procesos de fundición, moldeado, conformado y maquinado.

- Procesos de partículas y polvos: productos en partículas con características bien precisas tales como propiedades funcionales, distribución del tamaño de las partículas y otros.

2.2. TENDENCIAS DEL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA Y CIENCIA E INDUSTRIA DE LOS MATERIALES EN EL ECUADOR

El desarrollo de la economía mundial ha conducido a la apertura de mercados, bajo la estructuración de determinados bloques de países que comercializan entre sí.

El adherir continuamente el progreso tecnológico a los productos que se comercializan, son expuestos a grandes variaciones, por ejemplo: las materias primas están frecuentemente expuestas a variaciones de altos precios, ayudando a incrementar riesgos a las economías de los países que dependen de la comercialización de estos. .

El Tratado de Libre Comercio para el Ecuador, incorpora posibilidades de un desenvolvimiento en un entorno mundial como país, entregando oportunidades, desafíos tecnológico e Industriales; ya que al competir con mejores productos y servicios mundiales hará posible un desarrollo sustancial al país, incorporan nuevos procesos, capacitaciones tecnológicas, mejoramiento de la eficiencia y

eficacia en el aprovechamiento de la riqueza de recursos naturales con el manejo adecuado de la tecnología y el abrochamiento de oportunidades.

La Industria tiene un papel fundamental en la producción, de tal manera que se pueda competir con productos innovadores en mercados tanto nacionales como internacionales, entregando al consumidor calidad y beneficio en sus productos y/o servicios.

2.2.1. ANÁLISIS DEL DESARROLLO INDUSTRIAL EN LOS SECTORES PRINCIPALES

Con respecto a las industrias mineras y manufactureras, el INEC y el último censo realizado en las mismas, se comprobó que en el año 2005 (1538 establecimientos), a disminuido con respecto al año 2000 (1548 establecimientos), aunque en varios sectores a incrementado el personal ocupado y la producción total.

Tabla 2.1. Manufactura y Minería Serie Histórica 2000-2005

AÑOS	NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS			PERSONAL OCUPADO	PRODUCCION TOTAL
	TOTAL	MANUFACTURA	MINERIA		
2000	1548	1501	47	128.266	11,697,523,511
2001	1560	1507	53	138.594	10,281,793,143
2002	1541	1487	54	151.301	10,797,673,111
2003	1536	1487	49	149.246	12,072,776,740
2004	1565	1514	51	152.105	15,566,491,937
2005	1538	1489	49	161.105	16,643,792,044

Fuente: *http://www.inec.gov.ec*

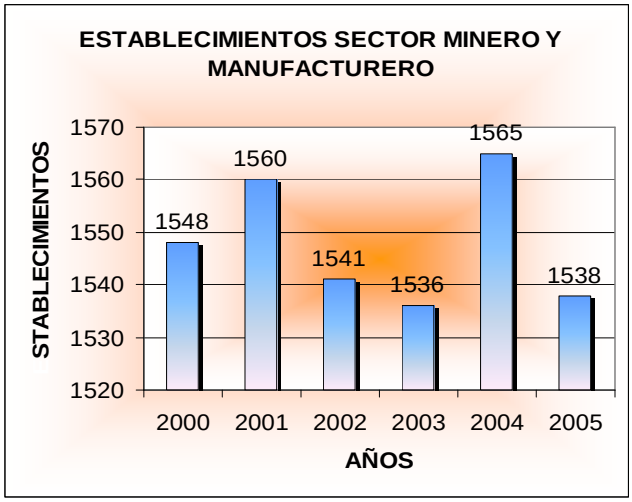


Fig. 2.1. Variación de Establecimientos General

Fuente: *http://www.inec.goc.ec – Autor Tesis*

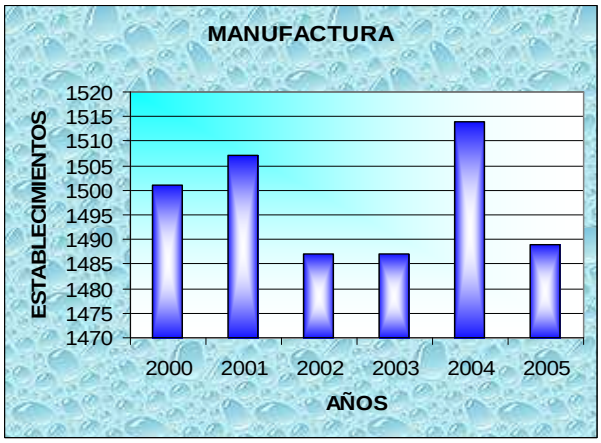


Fig. 2.2. Variación de Establecimientos en Sector Manufacturero

Fuente: http://www.inec.gov.ec – Autor tesis

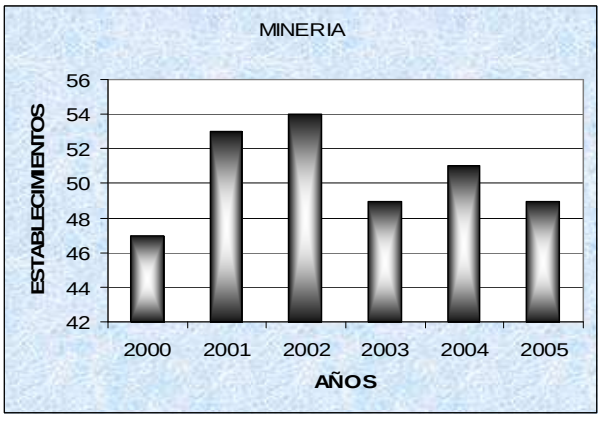


Fig. 2.3. Variación de Establecimientos en Sector Minero

Fuente: http://www.inec.gov.ec – Autor Tesis

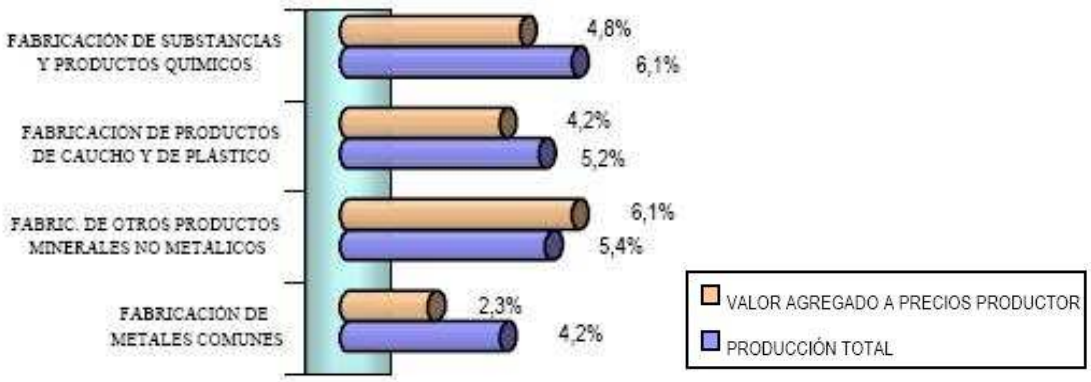


Fig. 2.4. Porcentajes de producción y valor agregado, en el sector de manufacturera, según divisiones CIIU en el 2006

Fuente: *http://www.inec.gov.ec*

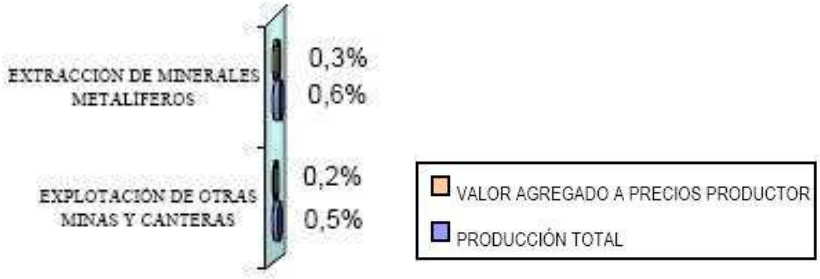


Fig. 2.5 Porcentajes de producción y valor agregado, en el sector de minería, según divisiones CIIU en el 2006

Fuente: *http://www.inec.gov.ec*

Al analizar los sectores Industriales se denotan los de fabricación, de substancias - productos químicos, de productos de caucho y de plástico, de otros productos minerales no metálicos y de metales comunes, tomando como referencia el Ecuador, se establece la fabricación de substancias y productos químicos con mayor producción, referente a los demás sectores, siendo este 6.1% y la menor producción es la fabricación de metales comunes con el 4.2% de la producción total.

En las investigaciones se determinado la existencia de un porcentaje de valor agregado[48] a cada uno de los sectores de producción, entre los que se destacan

[48] Es el monto o asignación que se le da a un producto en base a los estándares de calidad para obtener un producto final óptimo de gran competitividad en el mercado Nacional frente a otros productos similares o iguales

los siguientes: el mayor sector con el 6.1% con un valor agregado del 4.8% y el menor con el 4.2% y un valor agregado del 2.3% del total de producción.

En el sector manufacturero la fabricación de metales comunes se encuentra en descenso, ya que la producción de nuevos materiales como cerámicos y poliméricos están sustituyendo a los metales comunes, puesto que el sector metalúrgico obtenía el 10% al valor agregado del sector manufacturo.

En el sector minero, la extracción de minerales metalíferos y explotación de otras minas y canteras, la producción y el valor agregado son mínimos en comparación con el sector de manufacturero, la extracción de minerales metalíferos se encuentran en un 0.6% en producción total y 0.3% el valor agregado a precios de productor, en cambio en la explotación de otras minas y canteras se encuentran en un 0.5% producción total y 0.2% en valor agregado siendo esta la menor.

2.3. SECTOR CERÁMICO

Se trata de un sector pequeño pero importante a la vez en el desarrollo del ecuador, debido a su participación en el momento de seleccionar materiales que facilitará el entendimiento del progreso industrial.

2.3.1. DESARROLLO INDUSTRIAL[49]

El desarrollo industrial cerámico en el Ecuador constituye un punto fundamental en el progreso y avance de la situación económica por la que encuentra el mismo; ayudando así a la obtención de una fuente de ingreso potencial a nivel interno.

2.3.1.1. Tipos de Industrias Cerámicas en el Ecuador

En base a datos realizados por medio de encuestas a los sectores de Manufactura y Minería realizada en el año 1999 por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), donde indican que en el país existen 1502

[49] http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2003/n1/Revista_2003_Vol_16_N_1_Art03.pdf

industrias de manufactura en el país y 45 mineras, registradas legalmente en dicho Instituto de acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme revisión III (CIIU3).

Se seleccionan los aquellos códigos que están relacionados a los grupos de actividad económica de la industria cerámica, se han podido identificar los datos plasmados en el presente trabajo de Investigación para un mejor análisis y desempeño del mismo.

Una vez obtenidos los nombres de las empresas, se procedió a determinar el número de ellas por región, dando como resultado que de las 39 industrias, 33 pertenecen a la región sierra (85%) y 6 a la costa (15%), no registrándose ni en el Oriente, ni en Galápagos esta clase de industria.

Se agrupo también a estas industrias cerámicas por provincia, determinando que el mayor porcentaje de este tipo de industria se encuentra radicada en la provincia del Azuay (37%) y en la provincia de Pichincha (21%). La provincia del Guayas (13%) es la tercera en porcentaje y la principal de la región costa, los menores porcentajes tenemos a las provincias de Loja (10%), Chimborazo y Cañar (5%), Manabí, Tungurahua e Imbabura (3%).

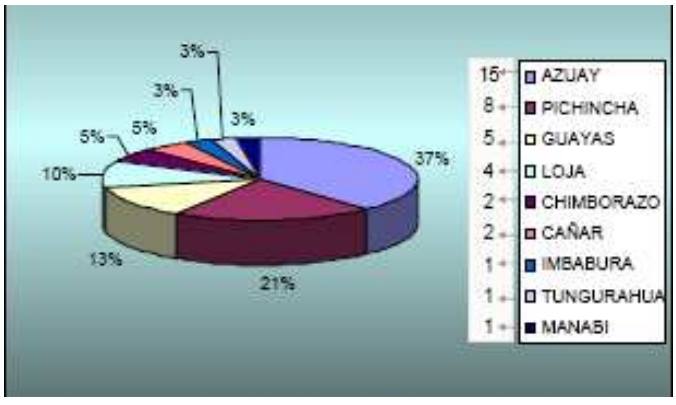


Fig. 2.6. Industrias Cerámicas por Provincia

Fuente:
http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2003/n1/Revista_2003_Vol_16_N_1_Art03.pdf

Tabla 2.2. Número y porcentaje e Industrias Cerámicas de acuerdo al Tipo

Tipo de Industria	Cantidad	Porcentaje
Cerámica Blanca	15	35%
Cerámica Roja	15	35%
Cemento	8	19%
Vidrios	4	9%
Refractarios	1	2%

Fuente: http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2003/n1/Revista_2003_Vol_16_N_1_Art0 pdf

La tabla 2.2. Indica que en el país sólo se ha desarrollado la industria de Cerámica Tradicional, y dentro de este segmento, el mayor porcentaje corresponde a la industria de Cerámica Blanca (35%) y Roja (35%).

Tabla 2.3. Nombres de las Industrias de Cerámica Blanca y Roja con los productos que manufacturan

NOMBRE DE LA INDUSTRIA	PRODUCTOS
Cerámicas Arsilco Cia. Ltda.	Vajillas de porcelana
Edesa S.A.	Porcelana Sanitaria y accesorios para baños
Franz Viegener S.A.	Porcelana Sanitaria y accesorios para baños
Silicatos y Oxidos Silióxidos S.A.	Tejas, baldosas, baldosas de gres
C.A. Ecuatoriana de cerámica	Baldosas de gres, baldosas y bloques para pisos, bloques y azulejos para paredes
Graiman Cia. Ltda.	Baldosas y losas para pisos y azulejos para paredes
Cerámica Andina C.A.	Vajillas de porcelana
Cerámica Alfarero	Adornos decorativos
Artesa S.A.	Vajillas y azulejos decorativas para baño y cocina
Cerámica Yapacunchi S.A.	Vajillas y adornos cerámicos
Cerámica Monte-turi	Accesorios para baños
Hagagres	Baldosas de gres
Ladrillos y Cerámica S.A. lacesa	Ladrillo, bloques de arcilla
Cevicerámica	Adornos decorativos
Cerámica Yamuncay	Tejas, ladrillos, bloques de arcilla
Iporsan	Porcelana Sanitaria
Cerámica Cuenca S.A.	Baldosas y azulejos para paredes
Cerámica Rialto	Baldosas y bloques para pisos
Italpisos S.A.	Baldosas y azulejos decorativos
Cerámica Sinincay	Tejas
Industria Ladrillosa	Ladrillos y bloques
FCA de ladrillo y Teja de Luis Tuza	Ladrillos, bloques y tejas
Arteja	Baldosas de gres y tejas
Decorteja	Bloques para pisos y paredes
Industria Cerámica Pionero	Ladrillos y bloques
Alfadomus	Tejas, bloques para paredes y losa, baldosas de gres, bloques para paredes vistas, baldosas y adoquines

Fuente:

http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2003/n1/Revista_2003_Vol_16_N_1_Art03.pdf

La tabla 2.3. Indica los tipos de productos manufacturan las industrias de cerámica blanca y roja del Ecuador.

2.3.1.2. Procedencias de Materias Primas

La Materia Prima utilizada por la industria cerámica ecuatoriana proviene de la explotación de recursos naturales del país y de importaciones realizadas por estas industrias.

2.3.1.2.1. Producción Nacional

En el país la oferta de materias primas de minerales no metálicos para la industria está en manos de las propias empresas usuarias así como de terceros. Estas concesiones mineras son solicitadas al Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección Nacional de Minería (DINAMI). Según información oficial de la DINAMI obtenida el mes de Julio del 2001 tenemos los resultados que se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Número de minas por tipo de material

Tipo de Material	# de Minas
CALIZA	24
ARCILLA	10
SÍLICE	8
CAOLIN	7
FELDESPATO	6
YESO	2
BARITINA	1
BENTONITA	1

Fuente:

http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2003/n1/Revista_2003_Vol_16_N_1_Art03.pdf

Los datos reflejados no representarán la veracidad completa de los datos debido a irregularidades en el sector minero.

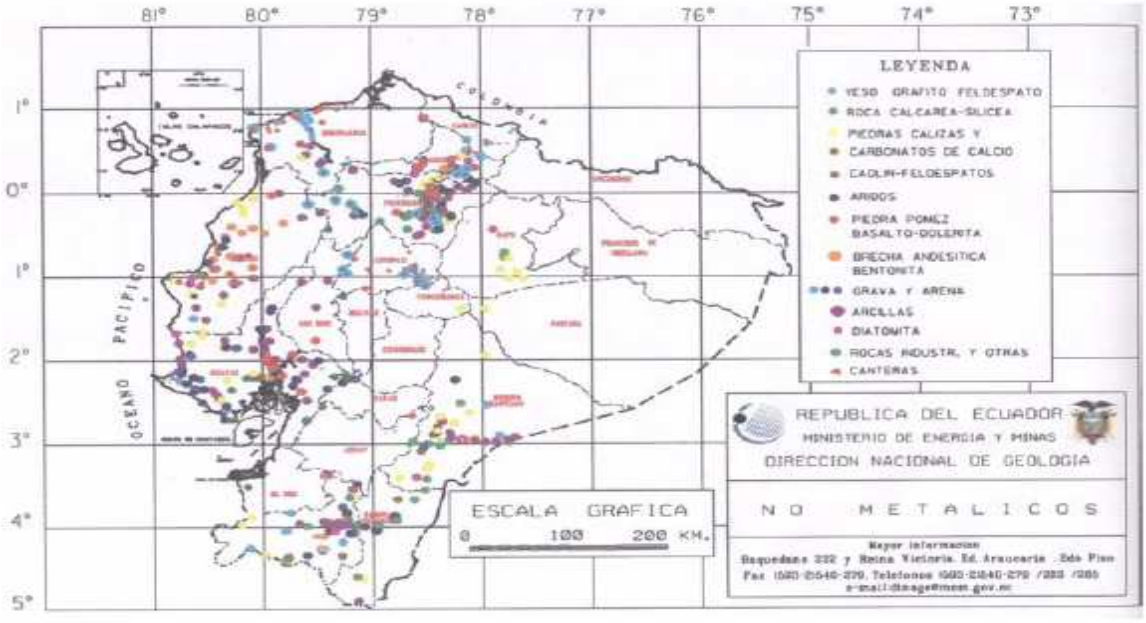


Fig. 2.7. Potencial No-Metálicos

Fuente:

http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2003/n1/Revista_2003_Vol_16_N_1_Art03.pdf

2.3.1.2.2. Tendencia Histórica de la Producción Nacional

El Ecuador no ha sido un país tradicionalmente minero, pero las iniciativas particulares de exploración y búsqueda de minerales a ser utilizados como materias primas para los diferentes sectores industriales, ha permitido conocer la existencia de excelentes reservas, promoviéndose de esta forma la explotación y utilización de estos insumos, determinándose cuáles son los minerales no metálicos que han sido explotados en el país en los últimos 10 años concluyendo que la caliza y materiales de construcción representan el volumen de producción más alto dentro de los minerales no metálicos.

Se puede inferir que en menor volumen de producción, se tienen a las arcillas, sílice, feldespato, caolín y yeso, que son minerales utilizados como materia prima en la industria cerámica blanca y roja.

2.3.1.2.3. Importaciones

De acuerdo con las partidas arancelarias se pudo obtener del Banco Central del Ecuador, información sobre las empresas cerámicas que han realizado por lo menos una importación de minerales no metálicos durante el periodo 1990 hasta el 2000.

De tal manera se determina las importaciones de minerales no metálicos que se realizan en el país, los nombres de estas industrias cerámicas se muestran en la tabla 2.5., concluyéndose que las industrias de cerámica blanca y roja son las que han estado importando estos minerales no metálicos.

Tabla 2.5. Nombre de las industrias cerámicas que han realizado por lo menos alguna importación de minerales no metálicos desde 1990 hasta el 2000

Nombre de la Industria Cerámica	Minerales no metálicos que se han importado por lo menos una vez en el período 1990-2000						
	1	2	3	4	5	6	7
Franz Vieneger S.A.	√	√	√	√	√		√
C.A. Ecuatoriana de Cerámica	√	√	√		√		
Graiman Cia. Ltda.	√		√	√			
Edesa S.A.	√	√	√	√	√	√	√
Italpisos S.A.	√		√			√	
Cerámica Cuenca S.A.		√		√			
Cerámica Yapacunchi C.L.		√	√			√	√
Cerámicas Arsilco Cia. Ltda.		√	√				
Artesa Cia. Ltda.			√				√
Ind. De Cerámica Melisa Incerme S.A.			√			√	
Industria de Porcelana Sanitaria S.A.			√			√	√
Nombre de la Industria Cerámica	**Minerales no metálicos que se han importado por lo menos una vez en el periodo 1990-200**						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Ceramicarma Cia. Ltda.				√	√	√	√
Cerámica Alfarero							√
Cerámica Andina C.A.							√
Silicatos y Oxidos Silióxidos S.A.							√

1=Cuarzo, 2=Caolín y demás arcillas calcinados, 3=Caolín y demás arcillas excepto calcinados, 4=Arcillas (otras), 5=Arcillas Refractarias, 6=Talco, 7=Yeso Fraguable

Fuente:

http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2003/n1/Revista_2003_Vol_16_N_1_Art03.pdf

2.3.2. PROBLEMAS Y LIMITACIONES

Las limitaciones que se pueden encontrar en la Industria Manufacturera Cerámica Nacional son las siguientes:

- La reducción del potencial económico instalado de las industrias manufactureras se encuentra vinculado directamente por problemas técnicos como: el proceso de producción, la muy limitada calidad técnica del material acabado y la productividad disminuida por el elevado rechazo de piezas.

- El uso inadecuado de materias primas locales en explotación, originan el empobrecimiento de estas, en donde la ausencia de beneficios por su utilización y la homogenización por procesos inadecuados, por exceso o por defecto de calidad, para iniciar problemas y limitaciones en la utilización de materias primas.

- La realización de consultoría por laboratorios del exterior es una opción preferente para las Industrias en el momento de la presencia de problemas técnicos, para enfrentarlos de alguna manera, incidiendo a su vez en costos altos, frecuencia reducida, lapsos de tiempo excesivamente largos, etc.

- Los productos existentes en el país, no cumplen con parámetros de calidad como los que cuentan los productos cerámicos excedentes fabricados en otros países del Pacto Andino, que constituyen en muchos de mejor calidad. Consecuentemente, las industrias nacionales se enfrentarán a una fuerte competencia tanto en las exportaciones como en las ventas locales a nivel internacional.

- La presencia de una demanda creciente incentivará a la industria de productos sanitarios, que exporta principalmente a los Estados Unidos de América, ofrecer una mayor oferta.

- La mejora de estándares de estándares de producción y acabado deberán ser implementadas en las industrias de vajillas del país, ya que se encuentran elaborado productos de baja calidad y resistividad.

- La industria de tejas y ladrillos se encuentra atravesado un período de crisis por la aparición de materiales sustitutivos, situación que podría solucionarse con la fabricación de nuevas líneas alternativas.

2.3.3. DESARROLLO INVESTIGATIVO

“De acuerdo a la reunión realizada de los Investigadores de las áreas cerámicas vítreos y afines de los 9 centros representados, sólo 3 poseen líneas de investigación específicas a lo largo plazo con proyectos concretos.

De los 3 centros, solo uno, la Universidad Católica d Quito, se ha adentrado y pretende seguir desarrollando el estudio de la microestructura de materiales cerámicos, de acuerdo a las actividades que realizan los otros dos centros importantes del país, la Escuela Politécnica Nacional trabaja en aisladores eléctricos, arenas negras y refractarios y la Universidad de Cuenca, por su parte, se dedica, desde 1965, a la investigación de tecnología para fabricación de vajillas, al asesoramiento técnico a la industria cerámica nacional y a la purificación de materias primas cerámicas.

La Escuela Politécnica Nacional plantea la instalación de una planta piloto de aisladores y de una planta de capacitares y resistores eléctricos a mas largo plazo, así como continuar el trabajo en refractarios mediante la revisión de tecnologías y el empleo de materias primas locales.

Los proyectos futuros de la Universidad de Cuenca abarcan la continuación de caracterización de materias primas y prospección de yacimientos, del desarrollo

de porcelana y gres para artesanos, la asesoría de alfareros y la realización de cursos de postgrado. ”[50]

“Para el sector cerámico se denotan las siguientes investigaciones realizadas” ”[51]

- Aislantes eléctricos de cerámica para baja tensión
- Métodos de moldeo para aislantes eléctricos.
- Mejoramiento de las materias primas para aisladores eléctricos cerámicos.
- Método continuo para purificar arcillas.
- Extrusión para fabricar aisladores eléctricos.
- Diseño y construcción de equipos para realizar investigación.

A futuro se plantea la necesidad que los investigadores de este sector se dedicarán fundamentalmente a la purificación de materias primas cerámicas, para de esta manera obtener diferentes tipos de gres y porcelana eléctrica, diseñando equipos instalando una planta piloto para optimizar los procesos de obtención de la cerámica eléctrica.

2.4. SECTOR METALÚRGICO

Se trata de un sector muy importante para el país por el apoyo que prestará al desarrollo del mismo, ya que al extraer los diferentes metales el país accede a un grado de avance tecnológico por el tratamiento y uso adecuado que se le dé a los mismos.

2.4.1. DESARROLLO INDUSTRIAL[52]

De acuerdo a información proporcionada por el Banco Central del Ecuador[53]en el sector de la manufactura de los metales, en el Ecuador las exportaciones acumuladas llegan a 518.73 millones USD en Diciembre del 2007 observándose

[50] CARDENAS Víctor; Op. Cit. p. 20
[51] Ibíd..; p. 21
[52] http://www.inec.gov.ec
[53] BCE; Cifras Económicas; Boletín Febrero 2008

así un incremento del 5.06% con respecto al mes anterior, analizando la estructura del valor agregado de la manufactura se encuentra en el 2.3% al precio de productor, mientras que la producción nacional está en un 4.2%.

La base de información denotada se encuentran registradas dentro de la base de datos del INEC, de acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), de donde se seleccionaron aquellos códigos que están relacionados a los grupos de actividad económica metalúrgica; los mismos están presentados en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Número de establecimientos por actividad en el sector metalúrgico

Manufactura	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Fabricación de productos primarios de hierro y acero	9	9	10	11	11	10
Fabricación de productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos	7	6	9	8	5	5
Fundición de hierro y acero	3	3	3	3	X	X
Fabricación de productos metálicos para uso estructural	28	26	27	28	32	33
Fabricación de tanques, depósitos y recipientes de metal	7	7	7	7	9	8
Fabricación de art. de cuchillería, herramientas de mano y artículos de ferretería	5	6	5	4	4	4
Fabricación de otros artículos elaborados de metal NCP	26	23	26	22	26	24
Fabricación de bombas, compresores, grifos y válvulas	4	6	6	5	7	6
Fabricación de máquinas herramientas	4	4	4	4	4	4
Fab. de partes piezas y accesorios para vehículos automotores y sus motores	14	14	14	14	15	16

Fuente: http://www.inec.gov.ec

La producción nacional cubre una amplia gama de fabricaciones que va desde estructuras y tanques de alimento, máquinas, herramientas, hasta equipo profesional y científico, e instrumentos de medida y de control.

2.4.2. DESARROLLO INVESTIGATIVO

La captación y adaptación de tecnología extranjera, sería una opción para la investigación metalúrgica se encuentra en su nivel básico en la actualidad y los factores que han sido de gran atención para los Investigadores son:

- Corrosión y oxidación de metales.
- Fundiciones grises, blancas, maleables y forjables.
- Tratamientos térmicos y termoquímicos.
- Recubrimientos Superficiales.
- Diseño, construcción de equipos para conformado de metales y aleaciones.
- Conformado a altas velocidades y aleaciones.
- Metalurgia extractiva de metales preciosos Au.
- Diseño y construcción de equipos para purificación del otro.

La gran reserva aurífera que posee el Ecuador, la investigación científica y tecnológica estará encaminada a la optimización y automatización de los procesos de extracción de oro, diseñando y construyendo equipos referentes a este tipo de trabajo; donde actualmente "las universidades e institutos de investigación ofrecen fundamentalmente los siguientes servicios:" [54]

- Detección de defectos en metales y aleaciones.
- Control de calidad de piezas fundidas, tratadas térmicamente y soldadas.
- Control de porosidades en piezas coladas.
- Control de calidad de las arenas de moldeo.
- Tratamientos térmicos, termoquímicos y recubrimientos de metales y aleaciones.
- Aleaciones metalográfico (determinación de tamaño de grano y de fases)
- Análisis de fracturas.

[54] CARDENAS Víctor; Op. Cit. p. 25

2.5. SECTOR DE POLÍMEROS

Se trata de un sector pequeño, poco explotado pero aras de desarrollo tecnológico y económico que ayudará al país.

2.5.1. DESARROLLO INDUSTRIAL[55]

Entre los sectores y áreas de gran importancia para el país y menos progreso en la actualidad es la industria de polímeros, iniciada en el Ecuador en el año de 1957, donde es posible apreciar un crecimiento en la última década de la industria de plásticos del 77% del total de la industria de polímeros existente.

Esta Industria se convertirá en una de las industrias más dinámicas del Ecuador, en valor agregado a precios de productor a nivel nacional está a 4.2% conjuntamente con el caucho.

Entre las materias primas, que son utilizadas por el sector de polímeros, se clasificarán en cuatro categorías: primera, primera transformación, segunda transformación y otras no clasificadas, entre los materiales utilizados en este sector, corresponden principalmente a productos derivados del petróleo y de la rama del sector químico, con lo que se ha generado una alta dependencia hacia estos.

Los sectores industriales, en la actualidad utilizan, artículos plásticos, como materiales auxiliares en su producción, en donde casi todos los productos de consumo están empacados en productos plásticos, se utiliza también en la construcción, transporte, textiles, prendas de vestir y producción agrícola de exportación.

Las industrias pertenecientes a este sector se encuentran registradas dentro de la base de datos del INEC, de acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), de donde se seleccionarán códigos que se encuentren

[55] http://www.inec.gov.ec

relacionados a los grupos de actividad económica de polímeros; representados en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Número de establecimientos por actividad en el sector polímeros

Manufactura	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Fabricación de plásticos en formas primarias y de caucho	8	10	9	7	6	7
Fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento similares, tinta de imprenta y masillas	16	17	17	18	17	19
Fabricación de productos y artículos de plástico	93	94	99	109	109	115

Fuente: *http://www.inec.gov.ec*

2.5.2. PROBLEMAS Y LIMITACIONES

La falta de apoyo que se les da a las diferentes fábricas existentes, por parte de las universidades tanto gubernamentales como privadas respecto al control de la calidad de sus productos, por medio de materiales poliméricos terminados o semiterminados, utilizando materia prima sintética o natural, de origen nacional o extranjero, al control de los parámetros en los procesos de extrusión, inyección, tratamiento polimérico superficial y síntesis de resinas, al análisis químico, termodinámico y físico-mecánico de sus productos; al mejoramiento de las características técnicas de los productos, al asesoramiento técnico en la rama polimérica, a la capacitación del personal de planta, a la investigación tecnológica en las empresas.

El Ecuador entre sus objetivos de mejoramiento continuo se ha visto en la necesidad de utilizar de una manera adecuada los recursos poliméricos como materia prima, con el fin de disminuir los costos de producción; de tal manera es posible determinar el uso de los desperdicios de madera (aserrín) de bajo valor económico en la obtención de tableros aglomerados, eliminando resina urea - formaldehido y sustituyéndola por catalizadores que permitan la polarización de la lignina y así obtener un producto con una reducción del 40% de los costos de producción, utilizando el mismo equipo tradicional instalado en las fábricas ecuatorianas.

La falta de un estudio tecnológico de la materia prima a fundirse, de las industrias que utilizan inyectores o estrusores, no tienen el equipo medidor de torque con cabezas de mezclado ni el personal capacitado en procesos poliméricos, para la realización de un trabajo óptimo y de mejoramiento para el sector; es así como se ha visto en la necesidad de incrementar el consumo de energía, elevando los parámetros de operación de la maquinaria con su respectiva disminución de la vida útil, generada por productos de segunda calidad y/o material de reciclaje con disminución de sus propiedades físico-mecánicas, llevando a una disminución de la rentabilidad de la empresa perdiendo el poder de competir eficientemente.

Un adelanto Industrial en el país hará posible una expansión comercial y una competencia a nivel de producción alta, tanto nacional como internacional de polímetros que ahora se importan y que son de gran consumo nacional, aumentando la posibilidad de utilización de mano de obra, utilizando como ejemplo las jeringas hipodérmicas que hasta el año 1986 se consumían 2 millones por mes; al disponer de un personal especializado en la rama de polímeros, ayudará de manera directa a que el país pueda comercializar en diferentes niveles del organigrama fabril, a nivel de operadores de maquinaria, jefes de personal y de control de calidad, ayudantes de planta e ingenieros de planta, etc.

2.5.3. DESARROLLO INVESTIGATIVO

Para el sector de polímeros es posible destacar las siguientes investigaciones:

- Materiales aislantes de polímeros para alta tensión.
- Tratamiento de materiales reticulares por radiación.
- Hidrofobización de nylon, polietileno, usando radiación gama.
- Obtención de madera plástica a partir de especies nacionales.
- Obtención de aglomerados a partir de los desechos de lupino (chocho) por acción catalítica.
- Estudio de las resinas de intercambio iónico.
- Diseño del proceso de obtención del papel couché y etiqueta a partir del papel base.

- Cinética de la combustión del coque depositado en el proceso del craqueo catalítico de gasoil sobre zeolitas.
- Métodos térmicos de análisis para la caracterización de caolinitas.

Los servicios que se entregan en las universidades e institutos de investigación son los siguientes:

- Análisis térmico diferencial
- Calorimetría diferencial de barrido.
- Termogravimetría.
- Termogravimetría diferencial.
- Procesos de obtención de pulpa y papel.
- Polimerización de resinas poliéster y monómeros acrílicos.
- Obtención de resinas radioenducrecibles.
- Obtención de materiales aglomerados con resinas.
- Radiólisis de pulsos
- Métodos dosimétricos del haz de electrones.
- Obtención de plastificantes.
- Modificación de polímeros utilizando procesos de injerto.

"En el país se ha iniciado la implementación de un centro de investigaciones aplicadas de polímeros, como es el caso de la Escuela Politécnica Nacional que realiza las siguientes actividades de Investigación:

- Alternativas de Reciclaje de Materiales Poliméricos.
- Determinación de la Corrosividad Atmosférica en diferentes ciudades del País.
- Reciclaje mecánico de plásticos.
- Obtención de pinturas anticorrosivas libres de cromatos.
- Síntesis de nanopartículas cerámicas para la obtención de materiales compuestos de matriz polimérica.
- Evaluación de nanocompuestos de polímeros y arcillas." [56]

[56] http://www.epn.edu.ec

2.6. NUEVOS MATERIALES

Factores que motivan la innovación de nuevos materiales en las Industrias:

- Ahorro de energía en los procesos de fabricación
- Eliminación de residuos dañinos para el medio y la salud.
- Sustitución de materiales considerados estratégicos.
- Aumento de la competitividad industrial (mejores características y calidad del producto)
- Economía en el empleo de los materiales, por aumento de la duración.
- Mejor aprovechamiento de los materiales durante los procesos de fabricación.
- Aumento de la seguridad en el trabajo.
- Reciclado de materiales.
- Aprovechamiento de residuos.
- Incremento del valor agregado de los productos.
- Creación y multiplicación de segmentos innovadores dentro de las industrias.

"Son sustancias de especial utilidad para la tecnología por su alto valor añadido, que no cambian esencialmente sus características físico-químicas en el curso de su utilización." [57]

"Como señala Fridliander "son aquellos productos desconocidos, o bien, todavía no utilizados por las industrias, o bien son la obtención de rendimientos desconocidos mediante nuevos procesos sobre materiales existentes, o son la consecución de un nuevo producto gracias a una combinación antes no ensayada de proceso y material" [58]

La aparición de nuevos materiales bajo la perspectiva del desarrollo de proyectos del espacio y de defensa militar, ocupan en la actualidad un sector importante del mercado y se proyectan a cobrar mayor preponderancia al diversificar sus

[57] CARDENAS Víctor; Op. Cit. p. 34
[58] Ibíd.; p. 35

aplicaciones y ofrecer precios cada vez más competitivos frente a los materiales tradicionales.

“Las industrias del sector metálico, plástico y cerámico, deberán entrar en un proceso de transformación y reconversión hacia el uso de materiales compuestos, si desean conservar sus espacios de mercado frente a los productos que serán ofertados desde afuera, facilitados por la inclusión del país en los bloques del comercio internacional.” [59]

Fases de investigación y desarrollo en la obtención de un nuevo material:

- Utilización de conocimientos interdisciplinarios, teóricos y experimentales, para caracterizar los nuevos materiales, tratando de controlar las propiedades de los mimos, correlacionando la estructura microscópica con la macroscópica.

- Conseguir métodos y técnicas de producción de nuevos materiales a nivel industrial.

- Ingeniería de Materiales, con los objetivos de:
  - Combinar propiedades de distintos materiales para generar un nuevo (materiales compuestos)
  - Desarrollar parámetros que describan los nuevos materiales y a sus métodos de obtención.
  - Encontrar nuevos productos en los cuales se puedan aplicar los nuevos materiales.

Dentro de los nuevos materiales tenemos: metales y aleaciones, cerámicos, polímeros, fibras y materiales compuestos.

Entre los principales que se puede describir se encuentran los siguientes:

[59] Ibíd.; p. 35

- ***Cerámicos – Nanoarcillas.-*** se inicializan desde la ciencia de la nanociencia y nanotecnología que ayuda la visualización y estudio de este tipo de nuevo material; siendo esta ciencia la encargada del estudio de fenómenos y pulación de materiales a escala atómica, molecular y macromolecular, diferenciando a gran escala las propiedades de estos, por tanto las nanoarcillas son arcillas modificadas mediante la manipulación controlada a nivel nonométrico, con un diseño específico de su estructura en aplicaciones específicas.

- ***Materiales Compuestos – Materiales Compuestos Híbridos.-*** se trata de materiales relativamente nuevos, compartiendo dos o más tipos de fibras en una matriz única, con una mejor combinación de propiedades que los materiales compuestos con un tipo de fibra como: usadas (carbono y vidrio), embebidas en una matriz polimérica.

- ***Biomateriales.-*** son utilizados para trabajos de recomposición del cuerpo humano que han sido dañadas por enfermedades o accidentes, y son compatibles con los tejidos humanos, sin liberar sustancias tóxicas al estar en contacto con fluidos o tejidos del ser humano.

2.6.1. DESARROLLO INDUSTRIAL

"La industria ecuatoriana dedicada a los materiales compuestos está todavía en proceso de formación y fundamentalmente se dedica a la confección de piezas con matriz polimérica y fibra de vidrio; así como también a productos de matriz cerámica y fibra mineralizadas." [60]

Estas industrias se encuentran registradas dentro de la base de datos del INEC, de acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), de donde se seleccionaron aquellos códigos que están relacionados a los grupos de actividad económica de nuevos materiales; los mismos están presentados en la tabla 2.8.

[60] http://www.inec.gov.ec

Tabla 2.8. Número de establecimientos por actividad en el sector de nuevos materiales

Manufactura	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Fabricación de fibras sintéticas o artificiales.	X	4	4	X	-	-
Fabricación de plásticos en formas primarias y de caucho	8	10	9	7	6	7
Fab.. de cubiertas y cámaras de caucho recauchado y renovación de cubiertas de caucho	5	7	7	7	7	6
Fabricación de productos de caucho	6	6	7	8	8	7
Fab. De Carrocerías para vehículos automotores	14	14	14	14	15	16

Fuente: *http://www.inec.gov.ec*

En el Ecuador existen alrededor de 15 industrias pequeñas y unos cuantos talleres artesanales dedicados a los materiales compuestos que trabajan con fibra de vidrio, fibrocemento y maderas tratadas Entre las principales podemos anotar: Poliasa, Tuboresa, Astinave, Tubasec, Italfibra, etc. Estas industrias se encuentran fundamentalmente en Quito, Guayaquil, Manta y Babahoyo.

Estas industrias fundamentalmente producen embarcaciones, tubos de diferentes diámetros, autopartes, tanques, válvulas check (todo esto en fibra de vidrio); para la construcción civil se utiliza techos, paneles y tanques de fibro-cemento, su producción no solo tienen productos en base de materiales compuestos sino en base de acero, aluminio y otros metales; representando el 5.1% de producción total de país en la fabricación del caucho conjuntamente con el plástico.

2.6.2. PROBLEMAS Y LIMITACIONES

El país y por ende la industria no cuenta con personal especializado en Ingeniería de Materiales y pero aún en Tecnología de Materiales Compuestos. Tampoco contamos en esta rama con técnicos y mano de obra calificada, por lo cual en el mejor de los casos estas industrias contratan personal con formación afín.

Del personal con que cuenta la industria la mitad se dedica a la producción y la mitad a la comercialización ya que la mayoría de ellas comercializan directamente sus productos.

- No todas las empresas cuentan con profesionales universitarios y las que disponen éstos constituyen el 5% de todo el personal.
- De los obreros que trabajan en estas empresas solo el 30% son calificados.
- La mayoría de estas industrias no cuenta con personal exclusivo para control de calidad.
- El 80% de estas industrias no cuenta con un laboratorio de Control de Calidad tanto de tipo destructivo como no-destructivo.
- Solamente dos de estas industrias hacen control de calidad de la materia prima. Todas ellas hacen control de calidad del proceso y del producto final.
- La mayoría de estas industrias hace un control de calidad de tipo visual, geométrico y de control de tolerancias.
- En casos extremos y en forma esporádica recurren a los laboratorios de control de calidad existente en universidades e institutos de investigación para controlar parámetros mecánicos, químicos, eléctricos, ópticos y otros.
- Falta de información tecnológica adecuada, tanto de las ofertas de diversas materias primas como de diferentes procesos tecnológicos. Las ofertas existentes provienen sólo de los Estados Unidos.
- Débil vinculación de las universidades y centros de investigación con las empresas industriales.
- Carencia del desarrollo de conciencia empresarial que permita el mejoramiento de las características de los productos ofertaos para que puedan competir adecuadamente en los mercados internos y externos.

2.6.3. DESARROLLO INVESTIGATIVO

En la actualidad las investigaciones de las universidades e institutos, se han visto en la necesidad de encaminarlas en dos parámetros o líneas de desarrollo investigativo:

2.6.3.1. Materiales Compuestos de Matriz Polimérica con Fibras Artificiales y Vegetales.

Se destaca el estudio de plásticos reforzados con fibras de abacá, cabuya, coco y vidrio, diseñando de esta manera elementos estructurales destinados para las construcciones civiles y elementos de máquinas como engranajes, bujes y poleas.

2.6.3.2. Materiales compuestos de matriz cerámica y fibra vegetales. Fibro-cemento utilizado en las construcciones civiles.

La construcción de equipos como desfibradoras, secadoras, mezcladoras, rociadotas, ha sido posible la vinculación de estos para la realización de este tipo de investigaciones, la continua investigación de plásticos reforzados con otras fibras vegetales como la de banano, piña y otras ayudan al diseño y confección de materiales compuestos de matriz de caucho, estructurando teóricamente la explicación del comportamiento elástico y plástico de los materiales compuestos de matriz polimérica y fibra natural o artificial.

Problemas frecuentes para la Investigación:

- Falta de información especializada.
- El área prácticamente no cuenta con personal especializado tanto a nivel universitario como a nivel de mano de obra calificada.
- Escasa infraestructura científica-tecnológica para desarrollar la industria de los materiales compuestos.

Se considera de vital importancia la creación de un centro de información especializado en Materiales Compuestos, la visita de expertos en esta importante rama de los materiales y la generación de un plan de especialización de profesionales ecuatorianos en el exterior, que permita un desenvolvimiento sustentable del área de Investigación; la misma que facilitará en desarrollo Industrial y Tecnológico del país.

CAPÍTULO III

3. NORMAS PARA MATERIALES

Para tener un mayor concepto de normas, vamos a diferenciar los códigos, las especificaciones y las normas, para tener un mayor conocimiento sobre las mismas.

El *código* es el documento que define los requisitos técnicos de diseño, materiales, procesos de fabricación, inspección, prueba y de servicio que debe cumplir una parte, componente o equipo; un ejemplo de aquello es el código ASME, AWS D1.1. Los códigos solo son obligatorios de aplicarse o seguirse si solo si cuando así lo establece un contrato de compra-venta o de fabricación de un bien, pero se debe tomar muy en cuenta que no se deben combinar los códigos es decir por ejemplo ASME no sustituye a AWS.

Las *normas* (estándar) son los documentos que establecen y definen una regla para poder adquirir, comparar, medir o juzgar un bien, parte, componente o servicio, y establecer definiciones, símbolos o clasificaciones de los materiales

Y finalmente una *especificación* describe de manera detallada un material, bien o servicio, definiendo así las propiedades físicas, químicas y mecánicas de un material, y establece la forma en que deben realizarse las pruebas y las tolerancias en los resultados para aceptación o rechazo, es decir, con los ensayos tecnológicos, usando las normas internas de la empresa adaptadas de las normas vigentes como la ASTM ó en este caso de nuestro país las normas INEN.

Las normas y especificaciones solo son obligatorias por acuerdo de comprador y vendedor., y tienen condiciones que debe establecer el comprador o quedan a discreción del vendedor aplicarlas. Las especificaciones establecen claramente la forma de hacer una compra de material. Los documentos americanos son muy estrictos en su redacción por ejemplo la palabra shall es el imperativo en español

que indica “Debe hacerse” ó “Tiene que hacerse” y la palabra should es el condicional en español, que indica “Podría hacerse” ó “Puede hacerse”.

Una encuesta de fin de siglo entre los socios de una importante revista de ingeniería mecánica dio por resultado que dentro de los diez mayores logros de la humanidad en el área de la ingeniería en el Siglo XX en están el desarrollo y uso de normas y códigos.

Las normas constituyen el lenguaje común entre los fabricantes, compradores, vendedores, constructores y diseñadores. Aquí se aplican varios criterios en la clasificación de los materiales: de acuerdo al Método de Manufactura (acero bessemer, de horno eléctrico, de crisol, etc), de acuerdo a su uso (de transmisión, para calderos, estructural, para herramientas, etc) y de acuerdo a la composición química (de acuerdo al porcentaje de carbono y del porcentaje de aleantes). A continuación las normas más representativa de algunos países.

Tabla 3.1. Designación de normas por país

Siglas	Designación de Norma	País
SAE	Society of Automotive Engineers Sociedad de Ingenieros Automotrices	USA
AISI	American Iron and Steel Institute Instituto Americano del Hierro y el Acero	USA
ASTM	American Society for Testing and Materials Sociedad Americana para Ensayos y Materiales	USA
ANSI	American National Standards Institute Instituto Nacional Americano de Estandarización	USA
UNS	Unified Numbering System Sistema de Enumeración Unificado	Unión Europea
DIN	Deutscher Industrial-Normen Norma Industrial Alemana	Alemania
AWS	American Welding Society Sociedad Americana de Soldadura	USA
ASME	American Society of Mechanical Engineers Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos	USA
AA	The Aluminum Association Asociación de Aluminio	USA
JIS	Japanese Industrial Standards	Japón
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización	Ecuador

NORMAS UNS

Sistema de Enumeración Unificado (Unified Numbering System) provee una de las principales correlaciones nacionales usadas en sistemas numéricos comúnmente administradas por las sociedades, asociaciones, y usuarios individuales y productores de metales y sus aleaciones.

El sistema de enumeración unificado (UNS) establece 18 series de enumeración de los metales y sus aleaciones. Cada número UNS consiste de una letra ó prefijo seguido por 5 dígitos. La letra ó prefijo está clasificada por cada familia de metales, por ejemplo A es para aluminio y sus aleaciones, G para los aceros al carbono y sus aleaciones AISI-SAE, P para metales preciosos, C para cobre y sus aleaciones, Z para zinc y sus aleaciones, S para aceros inoxidables. Está clasificación está listada en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Series primarias de números

Serie UNS	Metal
Metales no ferrosos y sus aleaciones	
A00001-A99999	Aluminio y sus aleaciones
C00001-C99999	Cobre y sus aleaciones
E00001-E99999	Tierras raras como metales y sus aleaciones
L00001-L99999	Metales de baja fusión y sus aleaciones
M00001-M99999	Miscelánea de metales no ferrosos y sus aleaciones
N00001-N99999	Níquel y sus aleaciones
P00001-P99999	Metales preciosos y sus aleaciones
R00001-R99999	Metales refractarios y reactivos, y sus aleaciones
Z00001-Z99999	Zinc y sus aleaciones
Metales ferrosos y sus aleaciones	
D00001-D99999	Propiedades mecánicas específicas de los aceros
F00001-F99999	Fundiciones de Hierro
G00001-G99999	Aceros al carbono y sus aleaciones AISI-SAE (excepto aceros para herramientas)
H00001-H99999	AISI H-Aceros
J00001-J99999	Acero Fundido (excepto aceros para herramientas)
K00001-K99999	Miscelánea de metales ferrosos y sus aleaciones
S00001-S99999	Aceros Inoxidables resistentes al calor y a la corrosión
T00001-T99999	Acero para Herramientas
Metales de aportación en soldadura	
W00001-W99999	Metales de aportación en soldadura, electrodo revestido y tubular, clasificado por la composición del deposito de soldadura

Fuente: *ASM. Metals Handbook. Desk Edition 2001. p. 101-105*

En la tabla 3.3 está identificado cada una de las series secundarias tomadas de la división de las series primarias. Cada una de las mismas está dividida tomando los dos primeros dígitos, por ejemplo L00001-L00999 pertenece a los metales de baja fusión como el bismuto.

Tabla 3.3. Secundaria División de algunas series de números.

Serie UNS	Metal	Serie UNS	Metal
E00001-E99999 Tierras raras como metales y sus aleaciones		M00001-M99999 Miscelánea de metales no ferrosos y sus aleaciones	
E00000-E00999	Actinio	M00001-M00999	Antimonio
E01000-E20999	Cerio	M01001-M01999	Arsénico
E21000-E45999	Mezcla de tierras raras	M02001-M02999	Bario
E46000-E47999	Disprosio	M03001-M03999	Calcio
E48000-E49999	Erbio	M04001-M04999	Germanio
E50000-E51999	Europio	M05001-M05999	Plutonio
E52000-E55999	Gadolinio	M06001-M06999	Estroncio
E56000-E57999	Holmio	M07001-M07999	Telurio
E58000-E67999	Lantano	M08001-M08999	Uranio
E68000-E68999	Lutecio	M10001-M19999	Magnesio
E69000-E73999	Neodimio	M20001-M29999	Manganeso
E74000-E77999	Praseodimio	M30001-M39999	Silicio
E78000-E78999	Promecio		
E79000-E82999	Samario	P00001-P99999 Metales preciosos y sus aleaciones	
E83000-E84999	Escandio		
E85000-E86999	Terbio		
E87000-E87999	Tulio	P00001-P00999	Oro
E88000-E89999	Iterbio	P01001-P01999	Iridio
E90000-E99999	Itrio	P02001-P02999	Osmio
		P03001-P03999	Paladio
F00001-F99999 Fundiciones de Hierro	Gris, maleable, maleable perlítico y dúctil (nodular) fundiciones de hierro	P04001-P04999	Platino
		P05001-P05999	Radio
		P06001-P06999	Rutenio
		P07001-P07999	Plata
L00001-L99999 Metales de baja fusión y sus aleaciones		R00001-R99999 Metales refractarios y reactivos, y sus aleaciones	
L00001-L00999	Bismuto	R01001-R01999	Boro
L01001-L01999	Cadmio	R02001-R02999	Hafnio
L02001-L02999	Cesio	R03001-R03999	Molibdeno
L03001-L03999	Galio	R04001-R04999	Niobio
L04001-L04999	Indio	R05001-R05999	Tantalio
L05001-L05999	Plomo	R06001-R06999	Torio
L06001-L06999	Litio	R07001-R07999	Tungsteno
L07001-L07999	Mercurio	R08001-R08999	Vanadio
L08001-L08999	Potasio	R10001-R19999	Berilio
L09001-L09999	Rubidio	R20001-R29999	Cromo
L10001-L10999	Selenio	R30001-R39999	Cobalto
L11001-L11999	Sodio	R40001-R49999	Renio
L12001-L12999	Talio	R50001-R59999	Titanio
L13001-L13999	Estaño	R60001-R69999	Circonio

Tabla 3.3. Continuación

Serie UNS	Metal
W00001-W99999 Metales de aportación de soldadura	
W00001-W99999	Acero al carbono con elementos de aleación no significantes
W00001-W99999	Manganeso-Molibdeno en acero de baja aleación
W00001-W99999	Níquel en acero de baja aleación
W00001-W99999	Aceros inoxidables austeníticos
W00001-W99999	Aceros inoxidables ferríticos
W00001-W99999	Cromo en aceros de baja aleación
W00001-W99999	Cobre-base aleaciones
W00001-W99999	Aleaciones Surfacing
W00001-W99999	Níquel-base aleaciones

Fuente: *ASM. Metals Handbook. Desk Edition 2001. p. 101-105*

Para los aceros inoxidables resistentes al calor y a la corrosión en la serie S00001-S99999, está norma utiliza dos números al final que identifica el elemento de aleación preponderante y para que se utilizó el mismo. Para explicarlo de mejor manera en la tabla siguiente se describirá cada una de las mismas con su descripción.

Tabla 3.4. Designación UNS dos últimos dígitos

Sufijo AISI	Descripción
xxx01	Bajo carbono <0.03%
xxx08	Bajo carbono <0.8%
xxx51	Nitrógeno agregado mayor resistencia
xxx53	Bajo carbono <0.03% agregado Nitrógeno
xxx20	Mayor azufre y fósforo mejor mecanizado
xxx23	Selenio mejor mecanizado
xxx15	Silicio agregado evita descamado
xxx09	Mayor contenido de carbono
xxx30	Cobre agregado

Fuente: *ASM. Metals Handbook. Desk Edition 2001. p. 105*

DESIGNACIÓN PARA ALEACIONES DE COBRE

El sistema de designación UNS en aleaciones de cobre ha sido el preponderante. Este y el CDA (Cooper Development Association) han colaborado para elaborar la clasificación genérica del cobre y sus aleaciones.

Al igual que el sistema de enumeración del Aluminio y sus aleaciones, para el cobre existe también una designación de temple y su clasificación en aleaciones

forjadas y fundidas. Como ya hemos visto antes este sistema de enumeración contiene CXXXXX, la primera letra que identifica a la familia y cinco dígitos, los tres primeros lo designa CDA y lo dos últimos corresponden a modificaciones de la aleación original, expuestos anteriormente. En la siguiente tabla se observará la siguiente clasificación

Tabla 3.5. Designación UNS dos últimos dígitos

Nombre Genérico	Número UNS
Aleaciones forjadas	C10000-C79999
Cobres	C10100-C15760
Aleaciones ricas en cobre	C16200-C19600
Latones	C20500-C28580
Latones emplomados	C31200-C38590
Latones al estaño	C40400-C49080
Bronces fosforados	C50100-C52400
Bronces fosforados al plomo	C53200-C54800
Aleaciones de cobre-fósforo y de cobre-plata-fósforo	C55180-C55284
Bronce al aluminio	C60600-C64400
Bronce al silicio	C64700-C66100
Otras aleaciones de cobre-zinc	C66400-C69900
Cuproníqueles	C70000-C79900
Platas níquel	C73200-C79900
Aleaciones para moldeo	C80000-C99999
Cobre	C80100-C81100
Aleaciones ricas en cobre	C81300-C82800
Latones cobrizos y cobrizos emplomados	C83300-C85800
Latones ordinarios y ordinarios emplomados	C85200-C85800
Bronces al manganeso y bronces al manganeso emplomados	C86100-C86800
Bronces al silicio, latones al silicio	C87300-C87900
Bronces al estaño y bronces al estaño emplomados	C90200-C94500
Bronce al níquel-estaño	C94700-C94900
Bronces al aluminio	C95200-C95810
Cuproníqueles	C96200-C96800
Platas níquel	C97300-C97800
Cobre emplomado	C98200-C98800
Aleaciones diversas	C99300-C99750

Fuente: *MANGONON Pat. Ciencia de Materiales. p. 584*

Las designaciones de temple se encuentran normalizados por la ASTM B601 “Practica normal de las designaciones de temple para cobre y sus aleaciones de cobre: forjados y fundidos”, los mismos están descritos a continuación.

Tabla 3.6. Designación de temple para aleaciones de cobre

Designación de temple	Nombre del temple o condición del material	Designación de temple	Nombre del temple o condición del material
Temples trabajados en frío		Temples recocidos	
		O10	Moldeado y recocido
H00	1/2 duro	O11	Moldeado tal cual y tratado térmicamente por precipitación
H01	1/4 duro		
H02	1/2 duro	O20	Forjado en caliente y recocido
H03	1/3 duro	O25	Laminado en caliente y recocido
H04	Duro	O30	Extruido en caliente y recocido
H06	Extraduro	O31	Extruido y tratado térmicamente por precipitación
H08	Resorte		
H10	Resorte extra	O40	Perforado en caliente y recocido
H12	Resorte especial	O50	Recocido ligero
H13	Resorte ultra	O60	Recocido blando
H14	Resorte súper	O61	Recocido
		O65	Recocido para estirado
Temples trabajados en frío y con alivio de esfuerzos		O68	Recocido para estampado profundo
		O70	Recocido muy blando
HR01	H01 con alivio de esfuerzos	O80	Recocido al temple, 1/8 duro
HR02	H01 con alivio de esfuerzos	O81	Recocido al temple, 1/4 duro
HR03	H01 con alivio de esfuerzos	O82	Recocido al temple, 1/2 duro
HR08	H01 con alivio de esfuerzos		
HR10	H01 con alivio de esfuerzos	Temples recocidos	
HR20	Sin rebabas tal cual	OS005	Tamaño de grano, 0.005mm
HR50	Estirado y con alivio de esfuerzos	OS010	Tamaño de grano, 0.010mm
		OS015	Tamaño de grano, 0.015mm
Temples manufacturados tal cual		OS025	Tamaño de grano, 0.025mm
		OS035	Tamaño de grano, 0.035mm
M01	Moldeado en arena	OS050	Tamaño de grano, 0.050mm
M02	Moldeado con centrifugación	OS060	Tamaño de grano, 0.060mm
M03	Moldeado con yeso	OS070	Tamaño de grano, 0.070mm
M04	Moldeado en matriz a presión	OS100	Tamaño de grano, 0.100mm
M05	Moldeado en molde permanente	OS120	Tamaño de grano, 0.120mm
		OS150	Tamaño de grano, 0.150mm
M06	Moldeado por proceso continuo	OS200	Tamaño de grano, 0.200mm
M07	Forjado en caliente y enfriado en aire		
M10	Forjado y templado		
M20	Laminado en caliente		
M30	Extruido en caliente		
M40	Perforado en caliente		
M45	Perforado en caliente y relaminado		

Fuente: *MANGONON Pat. Ciencia de Materiales. p. 586*

NORMAS AISI – SAE

Estas dos grandes asociaciones se han unido para codificar los diferentes materiales, es así del caso de los aceros y sus aleaciones, de los aceros HSLA, aceros para herramientas y acero inoxidables entre las más importantes.

ACEROS Y SUS ALEACIONES

Tanto la norma SAE (*Society of Automotive Engineers*) como la norma AISI (*American Iron and Steel Institute*), establecen rangos de composición química

que deben de cumplir. Emplean generalmente cuatro dígitos XXXX, donde las dos primeras cifras indican el tipo de elementos aleantes del acero y las dos o tres últimas cifras corresponden con el contenido medio en carbono en porcentaje en peso multiplicado por 100.

Así, la norma SAE J402 que establece que el 1er dígito indica el tipo al cual pertenece el acero; el 2do dígito del código generalmente indica un aleante o combinación de aleantes y, algunas veces, el porcentaje aproximado del elemento aleante predominan de un acero simple aleado.

Por ejemplo, un acero simple al carbono con un 0.40% en peso de C es un acero SAE 1040, mientras que un acero con 1.45% de Cr y un 1.5% en peso de C es un acero AISI-SAE 52150.

Los últimos 2 o 3 dígitos indican usualmente el contenido aproximado de carbono, en puntos o centésimo de 1%. Así el SAE 51351 indica un acero al cromo de aproximadamente de 1% de cromo (0.80 a 1.05%) y 0.35% de carbono (0.33% a 0.38%). Excepto la familia de 9XX Aceros HSLA, la XX indica las calidades SAE que designan el esfuerzo de fluencia mínima en [ksi].

En las tablas que están a continuación se describirá la clasificación AISI-SAE en división por familias, juntamente con las equivalencias correspondientes en las normas UNS, contando así con su referencia de normas Jxxx para límites de composición.

Tabla 3.7. Designación de aceros al carbono según normas SAE

Numerales y Dígitos		Tipo de Elementos de Identificación	Referencia para norma SAE, Jxxx para límites de composición
UNS	**SAE**		
		Aceros al Carbono	
G10XX0	10XX[a]	No Resulfurado, Mg 1,00% max.	403 y 1249
G11XX0	11XX	Resulfurado	403 y 1249
G12XX0	12XX	Refosforizado y Resulfurado	403

[a] J403 describe UNS G15XX0 y SAE 15xx es aplicable solamente para productos semi-terminados por conformado, laminado en caliente y terminado en frío para barras, varillas, tubería sin costura

Fuente: *SAE. Normas. J402*

Tabla 3.8. Designación de aceros aleados según normas SAE

Numerales y Dígitos		Tipo de Elementos de Identificación	Referencia para norma SAE, Jxxx para límites de composición
UNS	**SAE**		
		Aceros Aleados	
G13XX0	13XX	Aceros al manganeso	404 y 1249
G23XX0	23XX	Aceros al níquel	1249
G25XX0	25XX	Aceros al níquel	1249
G31XX0	31XX	Aceros al níquel-cromo	1249
G32XX0	32XX	Aceros al níquel-cromo	1249
G33XX0	33XX	Aceros al níquel-cromo	1249
G34XX0	34XX	Aceros al níquel-cromo	1249
G40XX0	40XX	Aceros al molibdeno	404 y 1249
G41XX0	41XX	Aceros al cromo-molibdeno	404 y 1249
G43XX0	43XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	404 y 1249
G44XX0	44XX	Aceros al molibdeno	404 y 1249
G46XX0	46XX	Aceros al níquel-molibdeno	404 y 1249
G47XX0	47XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	404
G48XX0	48XX	Aceros al níquel-molibdeno	404 y 1249
G50XX0	50XX	Aceros al cromo	404 y 1249
G51XX0	51XX	Aceros al cromo	404 y 1249
G50XX6	50XXX	Aceros al cromo	404
G51XX6	51XXX	Aceros al cromo	404
G52XX6	52XXX	Aceros al cromo	404
G61XX0	61XX	Aceros al cromo-vanadio	404 y 1249
G71XX0	71XXX	Aceros al tungsteno-cromo	1249
G72XX0	72XX	Aceros al tungsteno-cromo	1249
G81XX0	81XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	404
G86XX0	86XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	404 y 1249
G87XX0	87XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	404 y 1249
G88XX0	88XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	404
G92XX0	92XX	Aceros al silicio-manganeso	404 y 1249
G93XX0	93XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	404 y 1249
G94XX0	94XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	404 y 1249
G97XX0	97XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	1249
G98XX0	98XX	Aceros al níquel-cromo-molibdeno	1249
	9XX	Aceros HSLA	410c

Fuente: *SAE. Normas. J402*

Tabla 3.9. Designación de aceros especiales según normas SAE

Numerales y Dígitos		Tipo de Elementos de Identificación	Referencia para norma SAE, Jxxx para límites de composición
UNS	**SAE**		
		Aceros al Carbono y aleados	
GXXXX1	XXBXX	B denotación para aceros al boro	403 y 404
GXXXX4	XXLXX	L denotación para aceros al plomo	403 y 404
		Aceros Inoxidables	
S2XXXX	302XX	Aceros al cromo-níquel	405
S3XXXX	303XX	Aceros al cromo-níquel	405
S4XXXX	514XX	Aceros al cromo	405
S5XXXX	515XX	Aceros al cromo	405
		Aceros experimentales	
Ninguno	Ex--	Aceros experimentales SAE	1081

Fuente: *SAE. Normas. J402*

Además de la clasificación de los números en la integración que hicieron tanto AISI como SAE, se diferencian en que las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo literal para indicar el proceso de manufactura empleado en la producción del acero, mientras que SAE elimina tales dígitos.

Los prefijos literales que identifican el proceso de manufactura empleado en la producción del acero son: E es el proceso básico de horno eléctrico, B es el acero al carbono bessemer ácido, C y los que no contienen literal es el acero al carbono básico de hogar abierto.

También al final del código de designación se agrega la letra H cuando los aceros deben satisfacer requisitos de endurecimiento, en cuyo caso se les conoce como Aceros H.

ACEROS HSLA

Para los aceros de gran resistencia y baja aleación la norma SAE J410c, la codificación comienza como 9XX como ya se vio antes, el XX son los diferentes calidades ó grados de este tipo acero, es así, que representa el esfuerzo de fluencia mínimo que los aceros deben tener en ksi; este tipo materiales son de calidad estructural; además, estos tipos de aceros también se encuentran codificados en la norma ASTM, a continuación se va enlistar los grados posibles que existen con su composición química.

Tabla 3.10. Composición de algunos aceros HSLA

Grado AISI-SAE	Límites de Composición			Otros Elementos
	C, máx	Mn, máx.	P, máx	
945	0.22	1.35	0.04	Nb, V
950	0.23	1.35	0.04	Nb, V
955	0.25	1.35	0.04	Nb, V, N
960	0.26	1.45	0.04	Nb, V, N
965	0.26	1.45	0.04	Nb, V, N
970	0.26	1.65	0.04	Nb, V, N
980	0.26	1.65	0.04	Nb, V, N

Fuente: *SAE. Normas. J410c*

ACEROS PARA HERRAMIENTAS

El método de identificación y tipo de clasificación de los aceros para herramientas adoptado lo la AISI (American Iron and Steel Institute) tiene en cuenta el método de templado, aplicaciones, características particulares y aceros para industrias específicas. Los aceros para herramientas que más se utilizan se han agrupado en siete grupos y a cada grupo o subgrupo se le asignado una letra del alfabeto.

Tabla 3.11. Clasificación acero para herramientas según norma AISI

GRUPO	Literal	Tipo
Templados en agua	W	
Resistentes al impacto	S	
Trabajo en frío	O	Templado en aceite
	A	Mediana aleación – Templado en aire
	D	Alto carbono – alto cromo
Trabajo en caliente	H	(H1-H19, incluso, base cromo; H20-H39, incluso, base tungsteno; H40-H59, incluso, base molibdeno)
Alta velocidad	T	Base tungsteno
	M	Base molibdeno
Moldes	P	Aceros para moldes (P1-P19, incluso, bajo carbono; P20-P29, incluso, otros tipos)
Propósitos Específicos	L	Baja aleación
	F	Carbono-tungsteno

Fuente: *AVNER Sydney. Introducción a la Metalurgia Física. p. 384*

ACEROS INOXIDABLES

Para la designación de la serie se usa las normas AISI, el mismo utiliza un sistema de numeración de tres números se utiliza para identificar los aceros inoxidables. Los dos últimos números no tiene significado específico, pero el primero indica el grupo como está a continuación.

Tabla 3.12. Designación de aceros inoxidables según normas SAE

Serie AISI	Grupos
2XX	Cromo-níquel-manganeso; no endurecibles, austeníticos, no magnéticos
3XX	Cromo-níquel; no endurecibles, asuteníticos, no magnéticos
4XX	Cromo; endurecibles, martensíticos, magnéticos
4XX	Cromo; no endurecibles, ferríticos, magnéticos
5XX	Cromo; bajo cromo, resistentes al calor

Fuente: *AVNER Sydney. Introducción a la Metalurgia Física. p. 360*

Utilizando además de ello una letra como prefijo al final de la serie en los aceros inoxidables, como por ejemplo 2XXL que es un acero inoxidables al cromo-níquel-manganeso, austenítico, con bajo porcentaje de carbono menor a 0.03%. En la tabla siguiente se describirá cada una de las siglas con su descripción.

Tabla 3.13. Siglas añadidas a la designación de aceros inoxidables

Sufijo AISI	Descripción
xxxL	Bajo carbono <0.03%
xxxS	Bajo carbono <0.8%
xxxN	Nitrógeno agregado mayor resistencia
xxxLN	Bajo carbono <0.03% agregado Nitrógeno
xxxF	Mayor azufre y fósforo mejor mecanizado
xxxSe	Selenio mejor mecanizado
xxxB	Silicio agregado evita descamado
xxxH	Mayor contenido de carbono
xxxCu	Cobre agregado

NORMAS ASTM

Estas normas además de indicar la composición química como lo hacen AISI-SAE, normalmente indican las propiedades mecánicas, obteniendo así su aplicación: uso para la construcción, fabricación de dispositivos médicos, aplicaciones eléctricas, magnéticas, etc. Es decir, es un compendio de normas de aplicación industrial que contiene:

La estructura del código ASTM está formada por la siguiente estructura ASTM X XXX. El primer dígito, indica si es un material ferroso (A), no ferroso (B), no metálico (C), etc. Los restantes dígitos pueden indicar propiedades mecánicas, resistencia mecánica, aplicaciones, etc. A continuación se establecerá un cuadro con su respectivo prefijo.

Después del prefijo está compuesto por una serie de números (uno hasta cuatro dígitos) que identifica secuencialmente a la norma, y un guión, con uno o dos números como dígitos que identifica al año de adaptación o la última revisión, seguida de una letra literal minúscula con la cual identifica el número de revisiones, por ejemplo, 84a indica segunda revisión, 84b indica tercera división y así sucesivamente, si no tiene literal es su primera revisión.

Tabla 3.14. Designación según norma ASTM

Prefijo	Descripción
A	Metales ferrosos
B	Metales no ferrosos
C	Cemento, cerámicos, concreto, y materiales para albañilería
D	Miscelánea de materiales
E	Miscelánea de Temas
F	Materiales por aplicación específica
G	Corrosión, deterioración, y degradación de materiales
ES	Normas de emergencia
P	Propuestas

Fuente: *ASTM. Normas. Índice*

Un ejemplo que se puede dar es la norma ASTM A 36/A 36M-81a, esto se refiere, a las especificaciones de un acero estructural, revisado el año de 1981 por segunda vez. La letra M después de la serie numeral indica que se encuentra en un Sistema Métrico, mostrando así las unidades.

Otro ejemplo puede ser para ASTM A6/A 6M-96b que tiene como título "Requerimientos generales para planchas, perfiles, y láminas de acero estructural laminados", esto se encuentra en un sistema métrico y tiene la tercera revisión en el año 1996.

Cuando el acero tiene varios grados, se indica el grado del acero a continuación de la norma. La misma generalmente el grado indica el valor del límite de fluencia en miles de libras por pulgada cuadrada [Kps].

Un ejemplo de aquello, es la norma ASTM A 615/A 615M-96b Grado 60, indica las barras de construcción con un límite de fluencia mínimo de 60000 [Psi].

Las normas ASTM de materiales establecen valores mínimos de propiedades mecánicas y valores máximos permisibles para la composición de los principales aleantes.

Por ejemplo, ASTM A 36 los valores mínimos para propiedades mecánicas establecidos por la norma: límite de fluencia 36000 [Psi], Resistencia a la tracción 58000 – 80000 [Psi] y un Alargamiento 20%; y para efectos de garantizar la

soldabilidad establece como límite máximo de fósforo de 0.040%, azufre de 0.050%.

Las Normas Provisionales de los volúmenes de la ASTM está identificado con la letra T, esto es con la norma F525-77T es un método para medir la resistividad de las láminas de silicio (F252) mientras que fue emitida en 1977 y esto es una norma provisionales.

La designación se puede realizar mejor con un paréntesis que indica el año de revisión y la que está en paréntesis por el año de aprobación, por ejemplo C 123-69 (1984) norma par piezas ligeras en aglomerado, adoptada ó revisada en 1969, y reaprobada en 1984.

CLASIFICACIÓN DE LOS DOCUMENTOS ASTM

En la actualidad los documentos de la ASTM están clasificados en dos categorías que son:

- Normas (Standards)
- Normas Provisionales (Tentative)

El tipo de documento se basa en el contenido técnico y la aplicación del mismo con la finalidad de darle flexibilidad de forma, uso y comunicación al documento. Estos a su vez están divididos en varios tipos que son:

- ***Clasificación.-*** Arreglo sistemático o división de materiales, productos, sistemas o servicios en grupos de características similares como puede ser su origen, composición, propiedades o usos.

- ***Guía.-*** Compendio de información o serie de opciones que no recomiendan una acción específica.

- ***Práctica.-*** Un juego definido de instrucciones para realizar una o más operaciones o funciones específicas que no producen un resultado de prueba.

- ***Especificación.***- Un juego explícito de requisitos a ser cumplidos por un material, producto, sistema o servicio.

- ***Terminología.***- Un documento que comprende la definición de términos, explicación de símbolos, abreviaturas o acrónimos.

- ***Método de prueba.***- Un procedimiento definido que producen un resultado de prueba, como por ejemplo ensayos para definir las propiedades mecánicas de un material.

Los documentos de las normas ASTM está clasificado por secciones que contienen a su vez los volúmenes de cada sección.

Tabla 3.15. Volúmenes de las normas ASTM

Sección	Título
1	Productos de Hierro y Acero
2	Productos no Ferrosos
3	Métodos de prueba para metales y procedimientos analíticos
4	Construcción
5	Productos de petróleo, lubricantes y combustibles fósiles
6	Pinturas recubrimientos relacionados y aromáticos
7	Textiles
8	Plásticos
9	Hules
10	Aislamientos eléctricos y electrónicos
11	Aguas y tecnología ambiental
12	Energía nuclear, solar y geotérmica
13	Equipo y servicios médicos
14	Métodos generales e instrumentación
15	Productos generales, especialidades químicas y productos de servicio final

Fuente: *ASTM. Normas. Índice*

DESIGNACIÓN PARA FUNDICIONES

Las normas ASTM para fundiciones se basan en propiedades de tensión según la codificación del grado que la da la norma.

Para la fundición gris su especificación se encuentra en la A48 donde se le designa un grado por lar resistencia a la tensión que va desde 20-60 ksi, por ejemplo una fundición gris 30A, quiere decir que tiene 30 ksi de resistencia a la tensión mínima utilizado con una probeta de tipo A.

Para la fundición dúctil su especificación se encuentra en la A536, donde se le designa no solo el grado sino también el tratamiento térmico y su microestructura, este código según el grado de seis dígitos separados por guiones cada par, los dos primeros representa el esfuerzo máximo de fluencia, los números del medio representa el esfuerzo mínimo de fluencia y los dos últimos números representa el pro ciento de elongación mínimo en 2 pulgadas, por ejemplo una fundición 60-40-18(1) ferrita, está es una fundición dúctil con 60 ksi de esfuerzo máximo de fluencia, 40 ksi de esfuerzo mínimo de fluencia y 18 por ciento de elongación.

Para la fundición maleable es muy diferente pues tiene 5 dígitos que representan el esfuerzo de fluencia en ksi (2 primeros dígitos), la ductilidad mínima en % (2 últimos dígitos) y el tercer dígito, la modificación.

Tabla 3.16. Normas ASTM para fundiciones

Tipo de Fundición	Norma ASTM	Título
Fundición Gris	A48	Especificación para fundiciones de hierro gris
Fundición Dúctil	A536	Especificación para fundiciones de hierro dúctil
Fundición Maleable	A47	Especificación para fundición de hierro maleable

Fuente: *ASTM. Normas. Índice*

DESIGNACIÓN PARA ACEROS AL CARBONO Y HSLA DE CALIDAD ESTRUCTURAL

Las normas ASTM han designado para estos aceros estructurales al carbono como designación en los materiales ferrosos tanto los aceros estructurales al carbono y los aceros estructurales HSLA, a continuación se describen algunos de ellos

Tabla 3.17. Especificaciones de la ASTM para aceros al carbono y HSLA de grado estructural

Especificación	Título, condición
Aceros al carbono estructurales	
A36	Placas, varillas y perfiles al carbono estructural
A283	Placas de acero al carbono de resistencia a la tensión baja o intermedia
A284	Placas de acero al carbono-silicio de esfuerzo máximo de fluencia baja o intermedia para piezas de máquina y construcción en general.
A529	Placas, varillas, perfiles y tablestacado de acero al carbono con un esfuerzo de fluencia mínimo de 290 MPa
A573	Placas De acero al carbono para aplicaciones que requieren tenacidad a temperaturas atmosféricas
A678	Placas de acero al carbono templadas y revenidas
Aceros HSLA	
A131	Especificaciones para acero estructural para barcos
A242	Acero estructural de baja aleación y alta resistencia
A440	Placas, varillas y perfiles e acero al carbono de alto esfuerzo máximo de fluencia
A441	Acero estructural al manganeso-vanadio, de baja aleación y alta resistencia
A572	Aceros al niobio-vanadio, de baja aleación y alta resistencia de calidad estructural
A588	Acero estructural de baja aleación y alta resistencia con esfuerzo de fluencia mínima de 50 ksi hasta 102mm de espesor
A618	Tubos estructurales de baja aleación y alta resistencia con formados en caliente, soldados y sin costura
A633	Acero estructural de baja aleación y alta resistencia normalizado
A656	Aceros estructurales al vanadio-aluminio-nitrógeno t al titanio-aluminio, de baja aleación y alta resistencia, laminados en caliente
A709	Placas, varillas y perfiles de acero al carbono, de aleantes y HSLA para puentes

Fuente: *MANGONON Pat. Ciencia de Materiales. p. 465, 468*

DESIGNACIÓN PARA ACEROS PARA HERRAMIENTAS

En aceros para herramienta internacionalmente la norma AISI tiene la potestad sobre ellos, pero los mismos se producen conforme a las normas ASTM siguientes:

- ASTM A600, requisitos normales de los aceros al molibdeno y al tungsteno de alta velocidad.
- ASTM A681, requisitos normales de los aceros para trabajo en caliente, para trabajo en frío, resistentes al impacto, para usos especiales y para moldes.
- ASTM A686, requisitos estándar de los aceros para herramientas endurecibles en agua.

Estas normas pueden ayudar como base para la adquisición de los aceros, aunque los productores de aceros para herramientas tienen su propia codificación pero con su equivalencia bajo estas normas.

DESIGNACIÓN PARA MAGNESIO Y ALEACIONES AL MAGNESIO

La designación de aleación y temple, la American Society for Testing Materials (ASTM) ha publicado un sistema de nomenclatura de las aleaciones (Norma B275) que tiene como título *"Práctica para codificación de ciertos metales no ferrosos y sus aleaciones, fundiciones y forjado"*, y designación de temple (Norma B296) que tiene como título *"Práctica recomendada para la designación de temple en aleaciones de magnesio, fundición y forjado"*. Este sistema lo ha adoptado oficialmente la Asociación de Magnesio (Magnesium Association) para todas las aleaciones al magnesio. La designación de temples es la misma que la adoptada por la Asociación de Aluminio (Aluminum Association) para aleaciones al aluminio. La designación para aleaciones y metales no aleados se basa en sus límites de composición química.

Para Metales Aleados[61]

Las designaciones para aleaciones constan de no más de dos letras que representan los elementos de aleación especificadas en las cantidades más grandes, dispuestas en orden de porcentajes decrecientes, o en orden alfabético si son porcentajes iguales, seguidas por sus porcentajes respectivos redondeados a números enteros y una letra de una serie.

Para la codificación, un elemento de aleación se define como un elemento (diferente del metal base) con un contenido mínimo mayor que cero, ya sea directamente especificado o calculado de acuerdo con los porcentajes establecidos para otros elementos. La cantidad presente es la media del intervalo (o el porcentaje mínimo si sólo eso se especifica) antes del redondeado.

[61] AVNER. Sydney; Introducción a la Metalurgia Física; México: McGraw Hill; 2da Edición; p. 494-495

La letra de una serie se asigna arbitrariamente en secuencia alfabéticamente empezando con A (omitiendo la I y la O) y que sirve para diferenciar lo que de otra manera serían designaciones idénticas. Una letra de una serie es necesaria para completar cada designación.

El designar una aleación de fundición en forma de piezas fundidas. De este modo, la designación de un lingote de fundición puede constar de una designación de aleación con una o más letras de la serie, una para cada composición producto, o de una o más designaciones de aleación.

Las letras utilizadas para representar los elementos de aleación deben estar en la tabla 3.18.

Al redondear los porcentajes, se debe emplear el número entero más próximo. Si el decimal sigue de un 5, se debe utilizar el número par más próximo.

Cuando un intervalo se especifique para el elemento de aleación, se debe emplear en la designación el redondeo promedio. Cuando sólo se especifica un porcentaje mínimo para el elemento de aleación, en la designación se debe utilizar el porcentaje redondeado mínimo.

Tabla 3.18. Letras que representan los elementos de aleación para el magnesio

Letra	Elemento de Aleación	Letra	Elemento de Aleación
A	Aluminio	M	Manganeso
B	Bismuto	N	Níquel
C	Cobre	P	Plomo
D	Cadmio	Q	Plata
E	Tierras raras	R	Cromo
F	Hierro	S	Silicio
G	Magnesio	T	Estaño
H	Torio	Y	Antimonio
K	Zirconio	Z	Zinc
L	Berilio		

Fuente: *AVNER Sydney. Introducción a la Metalurgia Física. p. 495*

Para Metales no Aleados[62]

Las designaciones para metales no aleados consisten en la pureza mínima especificada, conservando todos los dígitos pero eliminando el punto decimal, seguidas por un número de serie, tal como se definió anteriormente con los metales aleados. El nombre completo del metal base precede la designación, pero se omite por brevedad cuando es obvio el metal base a que se refiere.

Un ejemplo de aquello es para la aleación al magnesio AZ92A, A representa aluminio, el elemento de aleación especificado con la segunda cantidad más grande; Z indica zinc, el elemento de aleación especificado con la segunda cantidad más grade; 9 señala que el porcentaje redondeado promedio de aluminio se encuentre entre 8.6 y 9.4; 2 significa que el porcentaje redondeado promedio de zinc está entre 1.5 y 2.5 y “A”, como última letra, indica que ésta es la primera aleación cuya composición mereció asignarle la designación AZ92.

DESIGNACIÓN PARA LOS POLÍMEROS Y ELASTÓMEROS

Para todos los plásticos, su terminología ó abreviatura se encuentra clasificada en la norma ASTM D1600, donde existen varias pautas para clasificar, una de ellas es la primera letra de cada palabra del nombre químico en inglés como por ejemplo, cloruro de polivinilo que en inglés sería Poly (vinyl chloride), abreviado resulta PVC, la segunda pauta es que se nombra por familia con por ejemplo nylon para plásticos poliamida, se usa números y letras para distinguir entre plásticos preparados de varias unidades de condensación en series homólogas, por ejemplo PA 610, es Poly(hexamethylene sebacamide), el primer número se refiere al número de átomos de carbono en la diamina y el segundo número es el número de átomos de carbono en el diácido.

Esta norma nombrada junto con la norma ASTM 4000 “Sistema de clasificación para especificación de los materiales plásticos”, donde para plásticos reforzados, una letra identifica el refuerzo o relleno como: C, corresponde a fibra de carbono y

[62] AVNER. Sydney; Op. Cit.; p. 495

de grafito; G, a fibra de vidrio; L, a lubricantes; M, a rellenos minerales, tal como se indica en la tabla 2 de la norma.

Según la tabla 3 de la norma ASTM 4000 indica un sufijo de requisitos de propiedades de cada celda. El sufijo se compone de dos letras y tres dígitos. La primera letra indica el requisito especia; l segunda letra indica la condición o el método de ensayo o ambos; y los tres dígitos indican el requisito específico, por ejemplo para ver el punto de fusión es la letra C.

Las normas D2000 de la ASTM designan a los cauchos y materiales elastómeros con arreglo a su temperatura de servicio máxima, utilizando las letras de la A a la J. La designación de clase se fija en base en el volumen máximo de hinchamiento por inmersión en aceite, que prescribe utilizando las letras de la A a la K para las 10 clases de aumento de volumen. Algunos elastómeros se ilustran en la tabla 3.19.

Tabla 3.19. Algunos elastómeros de uso generalizado según norma ASTM D2000

Tipo, Clase	Caucho típico
AA	Caucho natural, estireno-butadieno, butilo, etileno-propileno, polibutadieno, poliisopreno
AK	Polisulfuro
BA	Etileno-propileno, estireno-butadieno (alta temperatura), butilo
BC	Cloropreno, polietileno clorado
BE	Cloropreno, polietileno clorado
BF	Nitrilo
BG	Nitrilo, uretano
BK	Polisulfuro, nitrilo
CA	Etileno-propileno
CE	Polietileno clorosulfonado, polietileno clorado
CH	Nitrilo, epiclorhidirna
	Etileno/acrílico
DA	Etileno-propileno
DE	Polietileno clorado, polietileno clorosulfonado
DF	Poliacrilato (tipo acrilato de butilo)
DH	Poliacrilato
FC	Silicona (alta resistencia)
FE	Silicona
FK	Silicona fluorada
GE	Silicona
HK	Cauchos fluorados

Fuente: *MANGONON Pat. Ciencia de Materiales. p. 691*

MATERIALES CERÁMICOS Y COMPUESTOS

La ASTM para los materiales cerámicos le codifica con el sufijo C y en algunos casos con D en diversos materiales. Los volúmenes que ayudan a clasificar los mismos son:

- Sección Construcción, Volumen 04.01. “Cemento, Cal, Yeso”.
- Sección Construcción, Volumen 04.08., 0.4.09 “Tierra y Roca”
- Sección Productos Generales, Volumen 15.01 “Refractarios, Carbon Activado y Cerámicos Avanzados”
- Sección Productos Generales, Volumen 15.02 “Vidrios y Cerámicos”

En Materiales Compuestos le clasifica en los diversos materiales D, y el volumen que ayuda a clasificar los mismos son:

- Sección Productos Generales, Volumen 15.03 “Simulación Espacial, Aeroespacial y Aeronaves, Materiales Compuestos”

Para materiales naturales como la madera lo codifica con el sufijo D, y el volumen que ayuda a clasifica los mismos son:

- Sección Construcción, Volumen 04.10 “Madera”

THE ALUMINUM ASSOCIATION

La Asociación de Aluminio, ha resuelto un sistema de designación para el aluminio y sus aleaciones controlado por el Instituto Nacional Americano de Estandarización (ANSI) por la norma H.35.1., esto tanto en fundiciones de aluminio como también en productos terminados por conformado mecánico. Este sistema está conformado por cuatro dígitos, cada uno de ellos clasificado por el principal elemento de aleación en el primer dígito. Por ejemplo en el grupo 1XXX se encuentra aluminio puro con un mínimo de % de Al del 99%, tomando en cuenta que desde el segundo hasta el cuarto dígito indica el porcentaje mínimo de

aluminio. A continuación la clasificación tanto para aluminio conformado como también fundición de aluminio.

Tabla 3.20. Sistema de designación para aluminio conformado y sus aleaciones

Composición	Aleación No
Aluminio, 99% min. de Al	1XXX
Grupo de aleaciones de aluminio por el mayor elemento de aleación	
Cobre	2XXX
Manganeso	3XXX
Silicio	4XXX
Magnesio	5XXX
Magnesio y Silicio	6XXX
Zinc	7XXX
Otros elementos	8XXX
Series no usadas	9XXX

Fuente: *SAE. Normas. J993b*

En el caso del sistema de designación para fundiciones de aluminio y sus aleaciones, el último dígito indica si es fundición ó lingote, por ejemplo 1XX.0 indica una fundición de aluminio puro y el 1XX.1 indica un lingote de aluminio puro.

Tabla 3.21. Sistema de designación para fundiciones de aluminio y sus aleaciones

Composición	Aleación No
Aluminio, 99% min. de Al	1XX.X
Grupo de aleaciones de aluminio por el mayor elemento de aleación	
Cobre	2XX.X
Silicio, adherido con cobre y/o magnesio	3XX.X
Silicio	4XX.X
Magnesio	5XX.X
Zinc	6XX.X
Estaño	7XX.X
Otro elemento	8XX.X
Series no usadas	9XX.X

Fuente: *SAE. Normas. J993b*

DESIGNACIÓN DE TEMPLE

Esta designación sigue a la de aleación y se halla separada de ésta por un guión. La Asociación de Aluminio (The Aluminium Association) designó un sistema para temple, que fue adoptada en 1948, se utiliza la misma para el aluminio y

aleaciones al aluminio forjadas y fundidas. Se basa en las secuencias de los tratamientos básicos para producir los diversos temples; al igual que la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales publicó una nomenclatura de las aleaciones con Norma B275 que se encuentra como título *"Practica para Codificación de Ciertos Metales no Ferrosos"*, ambas eligieron un sistema estándar de designación de temple que consta de una letra que indica el temple básico.

Excepto para los temples en condición de recocido y aquellos en condición de fabricado sin tratamiento térmico que se define más específicamente por adición de uno o más dígitos. Existen cuatro temples básicos: F, condición de fabricado; O, recocido; H, endurecido por deformación; W, tratados térmicamente en solución y T, tratado térmicamente.

Tabla 3.22. Designaciones de temple para el aluminio

Temples		**Descripción**
Temples Básicos	**Subdivisión Temples**	
F		Condición de fabricado
O		Recocido, recristalizado
H		Endurecido por deformación
	H1	*Endurecido por deformación solamente*
	H2	*Templado por deformación y luego recocido parcialmente*
	H3	*Endurecido por deformación y luego estabilizado*
W		Tratados térmicamente en solución
T		Tratado térmicamente
	T2	*Recocido (solo productos fundidos)*
	T3	*Tratados térmicamente a solución y luego trabajada en frío*
	T4	*Tratados térmicamente a solución y envejecida en forma natural*
	T5	*Solo envejecido artificial*
	T6	*Tratados térmicamente y en solución luego envejecida artificialmente*
	T7	*Tratados térmicamente y en solución luego estabilizada*
	T8	*Tratados térmicamente, en solución trabajo en frío y luego envejecida en forma natura*
	T9	*Tratados térmicamente, en solución envejecida artificialmente y luego trabajo en frío*
	T10	*Envejecida artificialmente y luego trabajada en frío.*

Fuente: *SAE. Normas. J993b*

Para H (Endurecido por Deformación) se aplica a productos susceptibles de incrementar sus propiedades mecánicas mediante trabajado en frío solamente. L –H siempre es seguida por dos o más dígitos. El primero indica la combinación

específica de las operaciones básicas y el segundo dígito designa la cantidad de trabajo en frío realizada, cuyo número 8 representa la condición de la dureza total; por tanto, una dureza media es –H14, una dureza de cuarto es –H12, etc. Los temples extramuros se designan con el 9. Un tercer dígito se emplea a menudo para indicar el grado de control del temple o para identificar un conjunto de propiedades mecánicas específico.

En cuanto, para T (Tratado Térmicamente) se aplica a productos tratados térmicamente, con o sin endurecimiento por deformación suplementario, para producir temples estables. La –T sigue de los números 2 al 10, designando una combinación específica de operaciones básicas. Las variaciones deliberadas de las condiciones, que dan lugar a características distintas significativamente para el producto, se indican añadiendo uno o más dígitos a la designación básica.

NORMAS JIS

En las normas JIS, tienen un modo muy diferente de clasificar a los materiales, pero los volúmenes se clasifican similar con las normas ASTM en materiales ferrosos y no ferrosos, su codificación para materiales ferrosos sería JIS G XXXX donde la letra G como ferroso y los XXXX la subcodificación, por ejemplo un material JIS G 3101, las dos primeros números son la familia al que pertenece, en este caso a la familia de los aceros estructurales.

Ahora en cambio para los materiales no ferrosos tienen una nueva codificación pero alternando la letra que va después de la palabra JIS, que clasifica cada subfamilia del material como por ejemplo para la letra H para los materiales y las aleaciones de aluminio. Estas normas guardan correlación con las demás normas como la ASTM, ISO, BS, DIN, SAE, AA, AWS, etc.

NORMAS INEN

Estas normas regulan los procedimientos en el Ecuador, tanto materiales como procesos industriales; en el caso de materiales lo clasifica numéricamente según

el tipo de aplicación que se vaya utilizar y el número de revisiones que se haya tomado esa especificación.

NORMAS DIN[63]

Las normas alemanas DIN (Deutscher Industrial-Normen) regulan los hierros y aceros basándose en el tipo de aleación.

HIERROS Y ACEROS

En este caso, según la norma DIN 17006, denomina sistemáticamente a los hierros y aceros. En el caso de los aceros al carbono, es decir sin alear, la norma especifica los valores permisibles máximos en el contenido de silicio <0.5%, manganeso <0.8%, aluminio o titanio <0.1%, <0.25% al cobre y se tiene la siguiente denominación.

Tabla 3.23. Denominación para aceros sin alear según normas DIN

Acero sin Alear	Características	Ejemplo	Notas
No apropiado para tratamiento térmico (acero de construcción)	- Estructura St XX - Símbolo St para la resistencia a la tracción - XX, Valor mínimo nominal para la resistencia a la tracción en N/mm^2	St 42, acero al carbono con resistencia a la tracción 410 N/mm^2	Aplicable para acero según DIN 1611 1612 1613 1621 1622 1628 1629 1652
Apropiado para tratamiento térmico (aceros de cementación y aceros bonificados)	- Estructura C XXX - Símbolo C para el carbono - XXX, valor máximo para el contenido de carbono	C 35, acero al carbono con 0.35% de C.	A los aceros conteniendo poco P y S se les añade se les añade una K, p. ej. CK 35
Acero para herramientas sin alear	- Estructura C XXX WX - Símbolo C para el carbono Símbolo W para el nivel de calidad - XXX, valor mínimo para el contenido de carbono - X, para el nivel de calidad	C 100 W2, acero de herramientas al 1% de carbono, con calidad 2	W1 = Calidad 1 W2 = Calidad 2 W3 = Calidad 3 W4 = Calidad 4 WS = Fines especificos

Fuente: *SHARKUS Eduard. Tablas para la Industria Metalúrgica. p 8*

[63] SHARKUS Eduard; Tablas para la Industria Metalúrgica; Alemania: GTZ; 1976; p. 8-9

En el caso de los aceros aleados, la norma especifica los valores permisibles máximos en el contenido de silicio >0.5%, manganeso >0.8%, aluminio o titanio >0.1%, >0.25% al cobre y se tiene la siguiente denominación.

Tabla 3.24. Denominación de aceros aleados según normas DIN

Acero Aleado	Características	Ejemplo	Notas
Baja Aleación <5% elementos especiales	- Estructura xx X xx - xx, contenido de carbono - X, Símbolo de elementos de aleación - x, contenido de elementos aleados[a]	15 Cr 3, acero al cromo con 0.15% de carbono, 0.75% de cromo	Los elementos aleados se ordenan según su % decreciente
Alta Aleación >5% elementos especiales	- Estructura X xx X xx - Letra Inicial X - xx, contenido de carbono - X, Símbolo de elementos de aleación - x, contenido de elementos aleados	X 10 Cr Ni 188, acero al Cr-Ni con 0.10% C, 18%Cr, 8%Ni	En aceros o fundiciones de aleación alta el carbono en centésimas y aleaciones en su verdadero %

[a] Para obtener el % verdadero, las cifras características de las adiciones de aleación, en el caso de materiales de baja aleación, deben dividirse por: 4 para Co Cr Mn Ni Si W, 10 para Al Be B Cu Mo Nb Pb Ta Ti V Zr, 100 para C Ce N P S

Fuente: *SHARKUS Eduard. Tablas para la Industria Metalúrgica. p 8*

En las fundiciones, la norma DIN lo divide en fundiciones sin aleación, fundiciones aleadas, cada uno de ellos con su símbolo según la clasificación asignada. La designación de las fundiciones se encuentra en la tabla que está a continuación.

Tabla 3.25. Denominación para fundiciones sin alear según normas DIN

Fundiciones	Características	Clasificación y Ejemplos
Sin Aleación	- Símbolo de fundición - Resistencia a la tracción ó - Símbolo de fundición - Símbolo C - Cantidad de C (carbono) en centésimas	**GS – Acero moldeado**
		- GS – 52, acero moldeado con resistencia a la tracción de 510N/mm^2 - GS – C 25, acero moldeado con 0.25% de carbono - GS – 55 Cr6, acero moldeado con 0.55% de carbono y 1.5% de cromo
		GG – Fundición Gris
		- GG-18, fundición gris con resistencia a la tracción de 18N/mm^2 - GGK- , Fundición gris coquilla - GGZ- Fundición gris centrifuga Z= fundición centrífuga

Fuente: *SHARKUS Eduard. Tablas para la Industria Metalúrgica. p 8*

Tabla 3.26. Denominación para fundiciones aleadas según normas DIN

Fundiciones	Características	Clasificación y Ejemplos
Aleada	Símbolo de fundición Cantidad de carbono en centésimas Símbolos de elementos de aleación Cifra característica de elementos aleados[a]	**GH – Fundición dura**
		- GH-25, Fundición dura 25mm de profundidad de dureza - GH-95, con 95% dureza Shore, una cifra hasta 50 representa profundidad de dureza sobre 50, dureza Shore.
		GT – Fundición maleable
		- GTW-35, fundición maleable blanca con una resistencia a la tracción de 340N/mm^2 - GTS-35, fundición maleable negra con una resistencia a la tracción de 330N/mm^2 - GTW-S 40, fundición maleable soldada con una resistencia a la tracción de 390N/mm^2

[a] En caso de fundición de alta aleación, letra X + símbolo de fundición + contenido de C en centésimos, símbolo de elementos aleados + cifra característica de elementos aleados

Fuente: *SHARKUS Eduard. Tablas para la Industria Metalúrgica. p 8*

Tabla 3.27. Otros símbolos para designar normas DIN

Tipo de Fusión	Propiedades Especiales	Tratamiento
B = Acero Bessemer E = Acero Eléctrico F = Horno de reverbero I = Acero eléctrico (inducción) LE = Acero eléctrico (arco) M = Acero Martin PP = Acero pudelado SS = Acero apto para soldadura T = Acero Thomas Ti = Acero al crisol W = Acero afinado soplado	A = Resistencia al envejecimiento G = Gran contenido de P o S H = Semicalmado K = Pequeño contenido de P o S L = Resistencia a la formación de grietas P = Soldable por presión Q = Se recalca frío R = Calmado S = Soldable por fusión U = No calmado Z = Estirable	A = Revenido B = Maleabilidad excelente E = Templado cementado G = Recocido blando H = Templado K = Deformado en frío HF = Templado superficial a la llama HI = Temple superficial por inducción N = Recocido normal NT = Nitrurado S = Recocido eliminación de tensiones U = Sin tratar V = Bonificado
Ejemplos		
GS-B 40, Acero moldeado Bessemer con resistencia a la tracción de 390N/mm^2 T St 37, Acero Thomas con resistencia a la tracción de 360N/mm^2 SSt 37, Acero con resistencia a la tracción de 360N/mm^2 soldable por fusión	GS-BS 40, Soldable por fusión, acero moldeado Bessemer con resistencia a la tracción de 390N/mm^2 A St 42 N, Acero con resistencia al envejecimiento con resistencia a la tracción de 410N/mm^2, recocido de normalización	15 Cr 3E, Acero al cromo con 0.15% de carbono, 0.75% de cromo, endurecido por cementado C 100 W2G, Acero de herramienta calidad 2 con 1% de carbono, recocido blando

Fuente: *SHARKUS Eduard. Tablas para la Industria Metalúrgica. p 9*

Existen además de la designación otros símbolos especiales para designar tipo de fusión, propiedades especiales y tratamiento que se da a los materiales, en la tabla 3.27 se resumirá los mismos.

CÓDIGO ASME BPV

Los códigos ASME BPV que están controlados por las normas ANSI, están empleados para el diseño, fabricación y mantenimiento de calderas y recipientes a presión. El mismo está compuesto de 11 secciones que se pueden clasificar en:

- Secciones de diseño y construcción
- Sección de especificación de materiales
- Secciones de mantenimiento y conservación
- Sección de Inspección
- Sección de calificación de procesos de soldadura.

Las Secciones I, III, IV, VIII y X, establecen las condiciones de diseño, fabricación y pruebas de las calderas y recipientes a presión; por consiguiente se describirá cada uno de los nombres de cada sección.

- Sección I – Calderas
- Sección III – Estructurales y Plantas Nucleares.
- Sección IV – Calentadores
- Sección VIII DIV 1 – Recipientes a Presión
- Sección VIII DIV 2 – Reglas Alternativas Recipientes a Presión
- Sección X – Recipientes de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio

De la Sección II que tiene como título “Especificaciones de Materiales”, se refieren a las condiciones y requisitos de los materiales que se pueden emplear en la fabricación de calderas y recipientes a presión, clasificadas en partes de la siguiente manera.

- Parte “A” – Materiales Ferrosos

- Parte “B” – Materiales No Ferrosos
- Parte “C” – Materiales Empleados en Soldadura
- Parte “D” – Propiedades Mecánicas de los Materiales

Las Secciones VI, VII y XI, establecen las recomendaciones prácticas para el mantenimiento y buena conservación de las calderas y recipientes a presión. Las secciones descritas en este párrafo tienen como nombres:

- Sección VI – Calentadores
- Sección VII – Calderas
- Sección XI – Inspección en Servicio de Plantas Nucleares

La Sección V que tiene como título “Pruebas No Destructivas”, describe las condiciones a cumplir durante la aplicación de los ensayos no destructivos (END), y se clasifican a su vez por dos subsecciones.

- Subsección “A” – Requisitos para la Realización de los END
- Subsecciones “B” – Normas y Especificaciones Adoptadas por la Sección V

Y finalmente la Sección IX, que tiene como título “Calificación de Soldadura”, establece los requisitos y condiciones para elaborar:

- Los procedimientos de soldadura
- Los registros de la calificación de los procedimiento de soldadura
- Los registros de la habilidad de los soldadores.

La Sección VIII DIV 1 está dividida en, tres subsecciones, tablas de referencia, apéndices obligatorios, apéndices no obligatorios.

Tabla 3.28. Clasificación de la Sección VII DIV1 del código ASME

División 1	Descripción
Subsección “A”	Se refiere a los requisitos generales aplicables a todos los métodos de construcción y a todos los materiales que se pueden emplear en la construcción de recipientes a presión.
Parte UG	
Referentes a los materiales	UG-4 – UG-15
Referentes al diseño	UG-16 – UG-35
Referentes a las aperturas	UG-36 – UG-46
Referentes a la preparación de áreas para embirlado	UG-47 – UG-50
Referentes a la soportaría	UG-53 – UG-55
Referentes a la fabricación	UG-75 – UG-85
Referentes a inspección y pruebas	UG-90 – UG-101
Referentes a marcado y reportes	UG-115 – UG-120
Referente a válvulas de revelo de presión.	UG-125 – UG-137
Subsección “B”	Se refiere a los requisitos pertinentes a los métodos empleados en la construcción de recipientes a presión.
Parte UW	Establece los requisitos para la fabricación de recipientes a presión por soldadura de arco
Requisitos Generales	UW-1 – UW-3
Materiales	UW-5
Diseño	UW-8 – UW20
Fabricación	UW-26 – UW-42
Inspección y Pruebas	UW-46 – UW-52
Marcado y Reportes	UW-50
Válvulas de relevo	UW-65
Parte UF	Establece los requisitos para la fabricación de recipientes a presión por forjado.
Parte UB	Establece los requisitos para la fabricación de recipientes a presión por soldadura fuerte (Soldobrazadura).
Subsección “C”	Se refiere a los requisitos pertinentes para las clases de materiales
Parte UCS	Requisitos para recipientes a presión construidos con acero al carbono y baja aleación
Parte UNF	Requisitos para recipientes a presión construidos con materiales no ferrosos
Parte UHA	Requisitos para recipientes a presión construidos con acero de alta aleación
Parte UCI	Requisitos para recipientes a presión construidos con hierro fundido
Parte UCL	Requisitos para recipientes a presión construidos con materiales recubiertos con materiales resistentes a la corrosión.
Parte UCD	Requisitos para recipientes a presión construidos con hierro dúctil
Parte UHT	Requisitos para recipientes a presión construidos con aceros ferríticos con resistencia a la tensión mejorada por tratamiento
Parte ULW	Requisitos para recipientes a presión construidos por capas
Parte ULT	Requisitos para recipientes a presión construidos con materiales que tienen mayor resistencia a los esfuerzos a baja temperatura.

Fuente: *ASME. Códigos*

NORMAS ANSI

El Instituto Nacional Americano de Estandarización (American National Standards Institute) es una organización privada responsable de la coordinación de normas que se utilizan dentro de los Estados Unidos. ANSI no prepara normas, sino que forman grupos de intereses compuestos por personas provenientes de varias organizaciones involucradas con el desarrollo de algún documento en particular; si existe consenso del valor de una norma en particular, entonces esta norma puede ser adoptada con una norma nacional de Estados Unidos, y a esas normas se las nombra agregándolas las siglas ANSI por delante de la norma original. Un ejemplo son todas las normas ANSI/ASME o ANSI/AWS.

CAPÍTULO IV

4. SELECCIÓN DE MATERIALES

La elección del material para la fabricación de cada uno de ellos, constituye una etapa importante en el desarrollo del producto y/o máquina, tomando en cuenta algunos factores que se dará a conocer mas adelante; en la etapa del diseño que se conoce como ingeniería integral, simultánea y está motivada por productividad económica global, le permite al diseñador buscar si existe algún problema en cuanto a disponibilidad, costo o procesabilidad del material.

Hoy por hoy, prácticamente todos los productos están hechos de materiales ingenieriles, es decir, materiales desarrollados para cumplir con aplicaciones específicas. Cada componente debe ser construido de un material que le confiera características útiles para el desempeño del mismo.

Fig. 4.1. Tipos de Materiales

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 2*

El propósito de esta etapa es encontrar el material o conjunto de materiales que más se adecuen a una aplicación. De una buena selección depende el éxito o fracaso del diseño mismo, debido a que esta acción puede ahorrar material, disminuir o evitar procesos de manufactura, o contribuir para lograr diseños más eficientes, lo cual invariablemente se traduce en una reducción de costos.

Para cumplir satisfactoriamente con la selección de materiales dentro del proceso de diseño, es esencial conocer los requerimientos que dichos materiales deben satisfacer. Las propiedades que tales materiales deben poseer para ser considerados en la fabricación de determinado componente, deben también contar con la certeza de que no perderán sus capacidades al ser expuestos a las condiciones de trabajo.

Para el caso de la selección de un material o materiales para una pieza completamente nueva, es necesario realizar un estudio detallado sobre las cargas, el ambiente y las restricciones a las cuales será sometido el componente. Cuando es el caso de aplicar una modificación en una pieza, algunas veces es posible tomar como punto de partida las propiedades del material de la pieza original, siempre y cuando esta acción no interfiera con las razones por las cuales se optó por dicha modificación.

Ya sea seleccionar materiales para una pieza nueva o para una existente, invariablemente se requiere conocer las propiedades de los distintos materiales, con la finalidad de realizar la mejor selección. Algunas ocasiones, la obtención de propiedades extraordinarias en los materiales tiene un papel primordial.

La elección de un material debe iniciarse en la etapa de concepto, en la cual se identifica tanto a las clases de las familias como los atributos de cada material, para lograr ver si existen restricciones en temperatura y corrosión, por ejemplo si necesitamos un acero inoxidable, observamos con mayor detenimiento cual de los tipo de aceros inoxidables necesitamos, en este caso son austeníticos, martensíticos, ferríticos, dúplex ó endurecidos por precipitación.

Se pueden tener información preliminar de las propiedades de cada clase de material en los manuales, un manual completo de materiales, usos y propiedades es el Materials Handbook de la Editora McGraw-Hill de Geoge S. Brady tomado como referencia al final de este proyecto.

La disponibilidad de material, es uno de los factores también importantes, por lo que el proveedor debe dar la especificación de los materiales con sus propiedades, identificando al material con algún tipo de norma y además de ello si tienen en stock, esta es la etapa final de diseño.

4.1. TIPOS Y PROPIEDADES DE CLASES COMUNES DE MATERIALES

Fig. 4.2. Menú de los Materiales de Ingeniería

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p.29*

Los materiales disponibles para aplicaciones de Ingeniería pueden ser clasificados en cinco grandes categorías: Metales y aleaciones, cerámicos, polímeros, materiales compuestos y naturales.

Tabla 4.1. Clasificación y Características de los Materiales

Tipo de Material	Características
Metales	Los metales y sus aleaciones, incluyendo el acero, aluminio, magnesio, zinc, hierro fundido, titanio, cobre y níquel, generalmente tienen como característica una buena conductividad eléctrica y térmica, una resistencia relativamente alta, una alta rigidez, ductilidad o conformabilidad y resistencia al impacto. Son particularmente útiles en aplicaciones estructurales o de carga. Aunque en ocasiones se utilizan metales puros, las combinaciones de metales conocidas como aleaciones proporcionan mejoría en alguna propiedad particularmente deseable o permiten una mejor combinación de propiedades.
Cerámicos	El ladrillo, el vidrio, la porcelana, los refractarios y los abrasivos tienen baja conductividad eléctrica y térmica y a menudo son utilizados como aislantes. Los cerámicos son fuertes y duros, aunque también muy frágiles o quebradizos. Las nuevas técnicas de procesamiento han conseguido que los cerámicos sean lo suficientemente resistentes a la fractura para que puedan ser utilizados en aplicaciones de carga.
Polímeros	Producidos mediante un proceso conocido como polimerización, es decir, creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas, los polímeros incluyen el hule, los plásticos y muchos tipos de adhesivos. Los polímeros tienen baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas. Los polímeros termoplásticos, en los cuales las largas cadenas moleculares no están conectadas de manera rígida, tienen buena ductilidad y conformabilidad; los polímeros termoestables son más resistentes, aunque más frágiles porque las cadenas moleculares están fuertemente enlazadas. Los polímeros se utilizan en muchas y variadas aplicaciones, incluyendo dispositivos electrónicos.
Compuestos	Los materiales compuestos se forman a partir de dos o más materiales, produciendo propiedades que no se encuentran en ninguno de los materiales de manera individual. El concreto, la madera contrachapada y la fibra de vidrio son ejemplos típicos, aunque algo burdos, de materiales compuestos. Con materiales compuestos es posible producir materiales ligeros, fuertes, dúctiles, resistentes a altas temperaturas, o bien, se pueden producir herramientas de corte duras y a la vez resistentes al impacto, que de otra manera se harían añicos. Los vehículos aéreos y aerospaciales modernos dependen de manera importante de materiales compuestos como los polímeros reforzados de fibra de carbono (CFRP).
Naturales	Los materiales naturales como el bambú, la madera, el corcho, que se obtienen de seres vivientes, son materiales livianos y materiales reciclables, que se utilizan para fabricar muebles y materiales compuestos como madera plástico, aglomerados, papel, etc

Tabla 4.2. Principales Clases de Materiales

Familia	Subfamilia	Clases	Nombre Corto
Metales *(metales y aleaciones de ingeniería)*	Metales Ferrosos	Aceros al carbono	Aceros
		Acero Inoxidables	Aceros Inoxidables
		Fundiciones de Hierro	Fundiciones
	Metales No Ferrosos	Aluminio y sus aleaciones	Al aleaciones
		Cobre y sus aleaciones	Cu aleaciones
		Estaño y sus aleaciones	Sn aleaciones
		Plomo y sus aleaciones	Pb aleaciones
		Magnesio y sus aleaciones	Mg aleaciones
		Níquel y sus aleaciones	Ni aleaciones
		Titanio y sus aleaciones	Ti aleaciones
		Tungsteno y sus aleaciones	W aleaciones
		Zinc y sus aleaciones	Zn aleaciones
Cerámicos	Vidrios	Vidrio Cal-Soda	Vidrio Cal-Soda
		Vidrio de Borosilicato	Vidrio de Borosilicato
		Vidrio de sílice	Vidrio de sílice
		Vidrio cerámico	Vidrio cerámico
	Técnicos	Alúmina	Al_2O_3
		Nitruro de aluminio	AlN
		Carburo de Boro	B_4C
		Carburo de silicio	SiC
		Nitruro de silicio	Si_3N_4
		Carburo de tungsteno	WC
	Poroso	Ladrillo	Ladrillo
		Concreto	Concreto
		Piedra (roca)	Piedra
Polímeros	Termoestables	Epoxis	Epoxi
		Fenólico	Fenólico
		Poliéster	Poliéster
	Termoplásticos	Acrilonitrilo butadieno estireno	ABS
		Celulosa polímeros	CA
		Ionómeros	Iomómeros
		Poliamida (nylons)	PA
		Policarbonato	PC
		Poliéter etercetona	PEEK
		Polietileno	PE
		Polietilentereftalato	PET o PETE
		Metacrilato de polimetilo	PMMA
		Polioximetileno (acetal)	POM
		Polipropileno	PP
		Poliestireno	PS
		Politetrafluoretileno	PTFE
		Cloruro de polivinilo	PVC
	Elastómeros	Caucho Butílico	Caucho Butílico
		Etileno acetato de vinilo	EVA
		Isopreno	Isopreno
		Caucho natural	Caucho natural
		Policloropreno (Neopreno)	Neopreno
		Poliuretano	PU
		Silicona elastómeros	Siliconas
	Polímeros Espumosos	Polímeros flexibles espumoso	Espuma Flex
		Polímeros rígidos espumoso	Espuma Rígida
Compuestos	Base Polímero (Híbridos)	Fibra de carbono reforzada	CFRP
	Base Metal	Fibra de vidrio reforzada	GFRP
		SiC reforzado con aluminio	Al-SiC
Natural		Corcho (alcornoque)	Corcho
		Bambú	Bambú
		Madera	Madera

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 49-50*

La caracterización de cada familia de materiales se encuentra en la tabla 4.1 y su clasificación principal en la tabla 4.2 presentando una visión muy amplia de las propiedades de distintos tipos de materiales y puede ser útil para realizar una selección general. Sin embargo, en el proceso de identificar un material específico, es necesario considerar algunas características específicas. La Tabla 4.3 muestra algunas necesarias.

Tabla 4.3. Principales Propiedades de los Materiales

Clase	Propiedad	Símbolo	Unidades
General	Densidad	ρ	(kg/m^3 ó Mg/m^3)
	Precio	$\subset_m$	($/kg)
Mecánico	Modulo de Elasticidad (Young, Corte, cúbica)	*E,G, K*	(GPa)
	Esfuerzo de fluencia	σ_y	(MPa)
	Esfuerzo de tracción	σ_u	(MPa)
	Esfuerzo de compresión	σ_c	(MPa)
	Esfuerzo de fallo	σ_f	(MPa)
	Dureza	*H*	(Vickers)
	Elongación	ε	(-)
	Límite de endurecimiento por fatiga	σ_e	(MPa)
	Tenacidad de la Fractura	K_{IC}	(MPa.m$^{1/2}$)
	Resistencia al Impacto	G_{IC}	(kJ/m^2)
	Coeficiente de Pérdida (amortiguación)	η	(-)
Térmico	Punto de Fusión	T_m	(C ó K)
	Temperatura de vidriado	T_g	(C ó K)
	Servicio máximo de temperatura	T_{max}	(C ó K)
	Servicio mínimo de temperatura	T_{max}	(C ó K)
	Conductividad Térmica	λ	(W/m.K)
	Calor específico	$\subset_p$	(J/kg.K)
	Coeficiente de expansión Térmica	α	(K^{-1})
	Resistencia al choque térmica	ΔT_s	(C ó K)
Eléctrico	Resistencia eléctrica	ρ_e'	(Ω.m ó $\mu\Omega$.cm)
	Constante Dialéctica	ε_d	(-)
	Potencial de ruptura	V_b	(10^6 V/m)
	Factor de Potencia	*P*	(-)
Óptico	Óptico, transparente, traslúcido, opaco Índice de refracción	*n*	(-)
Eco-Propiedades	Energía/kg para extraer material	E_f	(MJ/kg)
	CO_2/kg para extraer material	CO_2	(kg/kg)
Resistencia al ambiente	Rata de Oxidación	Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Medio Alto	
	Rata de Corrosión		
	Constante de rata de deterioro	K_A	MPa^{-1}

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 31*

El proceso completo de la selección de materiales puede ser dividido básicamente en tres pasos:

- Determinación de las propiedades críticas a partir de las condiciones y entorno bajo el cual el producto operará.
- Revisión de las bases de datos de materiales para obtener candidatos que cumplan con las propiedades críticas del material.
- Seleccionar, de los candidatos, el material final considerando sus características y ventajas sobre los demás.

Pero existen factores que interviene en la selección de materiales que intervienen en el proceso de selección, así como los índices de mérito que se utilizan para seleccionar contando con los mapas de materiales

4.1.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES

Se describirán los diferentes factores que influyen en la selección óptima de un material, entre estos podemos mencionar: factores físicos, factores mecánicos, factores de facilidad de procesamiento, factores de ciclo de vida de los componentes, factores de costo y disponibilidad, y factores de códigos de materiales, estatutarios y otros.

4.1.1.1. Factores Físicos

En este grupo interviene los factores de tamaño, forma y peso del material, así como también el espacio disponible para el componente. Los mismos que tienen mucha relación con el tratamiento térmico o superficial, por cuanto, estos pueden restringir los procesos posteriores. Puede suceder que un componente de gran tamaño no se suministre en una sola pieza, por lo que quizá sea necesario considerar la posibilidad de ensamblar componentes de menor tamaño.

La forma del material en cambio se relaciona con el proceso que se necesite para realizar el producto, un ejemplo una pieza puede necesitar ser fundido o ser

forjado, los mismos que actúan en el comportamiento del material cuando se somete a esfuerzos mecánicos de diferente comportamiento. El peso del material tienen restricciones en cuanto a los costos iniciales y durante su ciclo de vida, un ejemplo puede ser en el área del transporte donde se exige hoy en día estructuras ligeras que permiten ahorrar energía y aumentar la rentabilidad, en este caso, se puede reemplazar por materiales polímeros o metales de densidad baja como el aluminio.

4.1.1.2. Factores Mecánicos

Estos son los factores más importantes, por cuanto, tiene que ver con la capacidad del material para soportar los tipos de esfuerzos que se le imponen. Estas intervienen tanto las propiedades mecánicas del material que se utilizan criterios de falla en el diseño como: resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, tenacidad a la fractura, resistencia a la fatiga, etc.; como también propiedades térmicas, eléctricas, ópticas del material que se encuentran resumidas en la tabla 4.3. Todas estas propiedades tomando en cuenta, la modalidad de sometimiento de las cargas (por tracción, compresión, flexión, torsión).

Por ejemplo, los materiales que permiten ahorrar cuando están sometidos a esfuerzos de tracción son los aceros de alta resistencia, pero estos materiales no son adecuados cuando se requiere rigidez y ahorrar peso en cargas de flexión, en comparación de los aceros de menor resistencia, porque el factor importante es le módulo.

4.1.1.3. Factores de facilidad de procesamiento

El factor de facilidad de procesamiento da la capacidad para dar forma al material. El proceso que se elija como fundición, conformado mecánico está ligado al tipo de material, por ejemplo, a los metales dúctiles y a los materiales termoplásticos se les da forma mediante procesos de deformación, por la razón de producción en masa; a los materiales cerámicas en cambio por ser frágiles y de alto punto de

fusión se escoge un proceso de sinterizado o de metalurgia de polvos; a los materiales compuestos se utilizan técnicas de formado por aspersión y de almacenamiento. Además abarca los procesos posteriores a los de procesos, como soldadura (autógena, fuerte, blanda), tratamiento térmico, tratamiento termoquímico, tratamiento superficial.

La soldabilidad de los aceros se ha correlacionado empíricamente con sus equivalentes al carbono. Los tratamientos superficiales entran en los procedimientos de terminado, cuyo propósito es proteger al material contra la corrosión, la oxidación y el desgaste, así como mejorar su atractivo estético.

4.1.1.4. Factores de ciclo de vida de los componentes

Estos están relacionados con el tiempo durante el cual los materiales desempeñan las funciones a las que han sido diseñados, en el ambiente al que están expuestos.

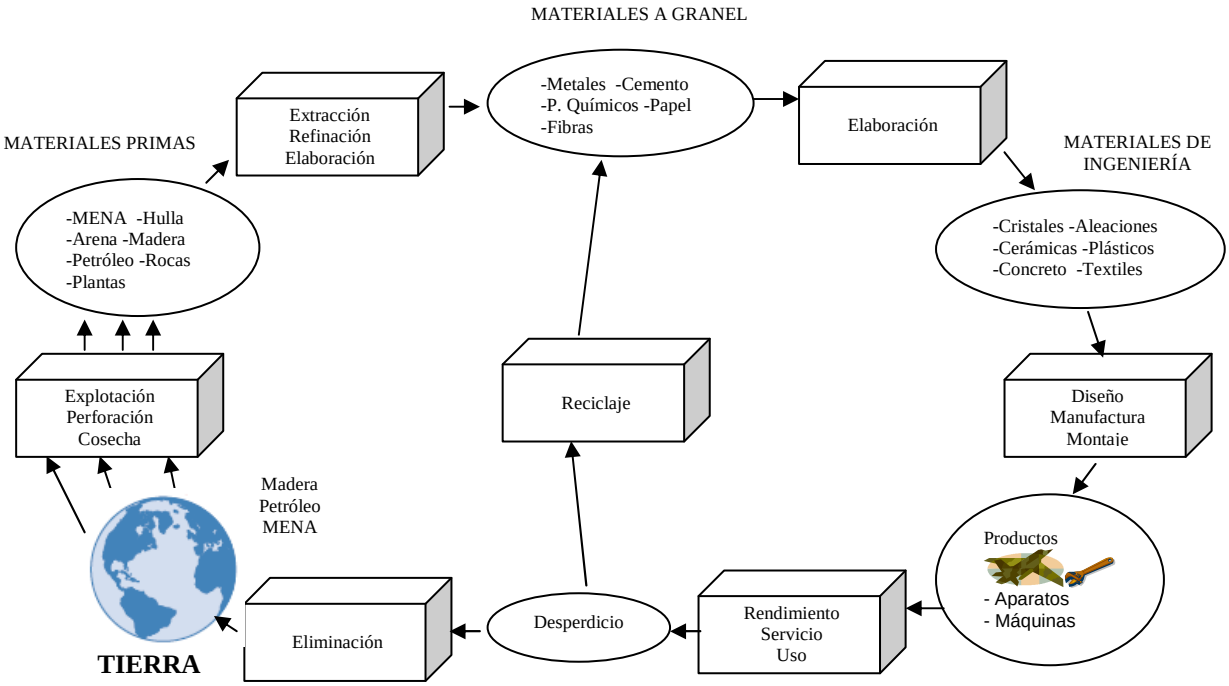


Fig. 4.3. Ciclo de Vida de los Materiales de Ingeniería

Fuente: *MANGONON Pat. Ciencia de Materiales. p. 793*

No es lo mismo estar en un ambiente húmedo y corrosivo que un ambiente seco y poco corrosivo; de aquí se obtienen las ratas de corrosión y de oxidación, y el coeficiente de desgaste del material. La fatiga es otro de los puntos importantes que se toma en cuenta en el ciclo de vida del componente según el los esfuerzos al que este sometido.

4.1.1.5. Factores de costos y disponibilidad

Todos los profesionales tenemos que dar importancia a la minimización de los costos tanto del material como los procesos de fabricación, por lo que la economía está impulsada por el mercado. La disponibilidad va de la mano con los costos, y los costos asimismo van relacionados con la cantidad y la estandarización de los materiales.

Las especificaciones locales de materiales ayudan a tener un mayor enfoque de disponibilidad, esto es teórico, porque por ejemplo en el Ecuador no se cumple esto, y se tiene que importar los materiales con mayor costo debido a los aranceles. Pero si están disponibles los materiales en el mercado local, es importante si lo pedidos se hacen por toneladas, por kilogramo o por gramo, ya que esto influye en el costo del producto; también influye el costo de producción si se realiza en serie ó por unidades ya que de esto, va aminorar o a incrementar el valor final del producto.

4.1.1.6. Factores de códigos de materiales, estatutarios y otros.

Los códigos de materiales se basan en las designaciones de las organizaciones técnicas como la ASME, ASTM, SAE, AISI, y otras, las industrias de metales y otros materiales están obligados a cumplir tanto con la composición máxima como las propiedades mínimas. Los factores estatutarios están relacionados con las normativas de procedimientos locales de reciclaje y desecho de los materiales, por lo cual, obliga a los manufactureros a obtener su manual ambiental con las normativas ISO 18000.

4.2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES

Existen tres criterios fundamentales en la etapa de la selección del material que están acompañadas de los factores que intervienen en la selección de materiales.

- Criterio de Propiedades (factores mecánicos, de ciclo de vida de los componentes)
- Criterio de Proceso y Costos (factores físicos, facilidad de procesamiento, costos y disponibilidad)
- Criterio Ambiental (factores estatutarios)

Actualmente existen un sin número de materiales en el mercado, y nuevos materiales de ingeniería, se estima entre 50000-60000 materiales disponibles, siendo esto una cifra aproximada; los nuevos materiales para ingeniería han evolucionado al mundo y seguirá avanzando.

La selección en base a los criterios de propiedades es el procedimiento de obtener valores numéricos de las propiedades con las restricciones y los requisitos; y sería óptimo pensar en la combinación de propiedades, según las condiciones de trabajo al que esté sometido el componente.

Los procedimientos de obtener los criterios de propiedades de materiales pueden ser muy tediosos y costaría mucho tiempo y dinero, por lo que es muy difícil elegir un material entre tantos que existen en la industria, pues es necesario investigar los manuales, códigos y especificaciones de materiales. Hoy en día este sistema está modernizado pues existen base de datos y paquetes informáticos de propiedades de materiales que me permiten automatizar este proceso.

También se dispone de mapas de propiedades que permiten seleccionar los materiales con base a un índice de desempeño, en una combinación de materiales, este proceso puede ser mucho más rápido y eficiente, pues deberíamos ser expertos en la materia de selección de materiales para elegir un material sin un software.

Además es muy difícil relacionar las propiedades mecánicas del material con la rata de corrosión, debido a los cambios pequeños de concentración del electrolito (o de ambiente) no son predecibles en la etapa del diseño.

La selección en base al criterio de proceso y costos busca identificar el procedimiento de fabricación que permite dar forma al material, para consiguiente unirlo y terminarlo al costo mínimo.

Este procedimiento de elección del proceso para disminuir costos y aumentar el rendimiento del material puede ser tedioso, por el gran número de ellos, pues el mismo software que se va a mostrar mas adelante identifica material y procesos alternativos para la fabricación del componente.
La selección ahora en base al criterio ambiental, es un punto nuevo en la selección de materiales, pues este en anteriores años, no estaba definido, debido a la contaminación mundial se ha implementado esta idea.

El criterio ambiental se relaciona con la repercusión del material, su manufactura, uso y reutilización, y eliminación al medio ambiente, en procesos adecuados. El selector de material ahora tiene que tomar en cuenta este criterio, pues aunque aumenta el costo del material y de su manufactura, a la final es muy provechoso para la industria.

Por ejemplo, en las compañías automotrices antes fabricaban un auto de mayor volumen y mayor consumo de gasolina, pues estos autos eran demasiado caros para que una familia de mediana economía pueda acceder a ellos, pues debido a la gran contaminación que causaba los mismos por el consumo de gasolina, con las medidas ambientales que se tomo, las industrias automotrices redujeron tanto el tamaño del auto como también el consumo de gasolina y ayudaron para que todos las personas tengan acceso a este recurso.

En el campo ambiental se puede adoptar varias estrategias que ven y evalúan los factores ambientales pero la táctica más popular es el análisis del ciclo de vida

con un factor muy importante que es la energía, estarían clasificadas por procesos de esta manera.

- Procedimiento que se emplea para extraer el material de su mena y para dar forma.
- Energía consumida durante el uso del componente.
- Energía susceptible de recuperación después de su uso.

Se emplea el factor energético porque la energía que se consume en su ciclo de vida proviene de los combustibles fósiles que están en peligro de extinción.
En los plástico está ganando mucha aceptación en la industria automovilística, por su ligereza, facilidad de fabricación y su resistencia a la corrosión, pero lo mas importante el reciclaje, en los polímeros termoestables no es aplicable el criterio ambiental pero si en los polímeros termoplásticos.

4.2.1. ÍNDICE DE DESEMPEÑO [M]

En aplicaciones de la Ingeniería, cada componente se diseña para realizar una o más funciones. Por ejemplo, soportar flexión, contener una presión o transmitir calor. Para su diseño, el diseñador tiene un objetivo para la aplicación, para su manufactura, costo, etc. como el de lograr un componente ligero, del menor costo posible, que proporcione la máxima seguridad en su desempeño, entre otros de similar importancia. Sin embargo, estos objetivos se alcanzan con ciertas restricciones, como que el componente debe resistir las cargas dadas sin falla, que ciertas dimensiones sean fijas, que éste pueda funcionar dentro de un intervalo definido de temperatura y un ambiente dado, etc. La función, el objetivo y las restricciones del componente definen entonces las condiciones de frontera para la selección de un material.

A partir de estas condiciones se identifican los límites de las propiedades y los índices de desempeño que son la clave para optimizar la selección. Estos límites son fronteras dentro de las cuales deben encontrarse ciertas propiedades si el material va a ser considerado como un candidato para la selección final.

Los índices de desempeño se refieren a agrupaciones de las propiedades de los materiales, cuya particularidad es que si son maximizados, maximizan un aspecto del desempeño del componente. Dos de ellos son la rigidez específica y la resistencia específica. La rigidez específica se expresa como E/ρ, donde E representa el módulo de Young y ρ la densidad. Materiales con valores excepcionalmente altos de E/ρ son excelentes candidatos para un elemento que soporte tensión, ligero y rígido. Por otro lado, valores extremos de la resistencia específica, que se expresa como σy/ρ, con σy indicando el esfuerzo de fluencia, son buenos candidatos para el diseño de un elemento ligero y resistente.

Como los ejemplificados anteriormente, existen diversos índices de ese tipo, cada uno caracterizando una combinación particular de función, objetivo y restricción. Su derivación se desprende de expresiones del objetivo, es decir, una función objetivo expresada como una ecuación matemática que describa la cantidad a ser maximizada o minimizada. Esta función contiene variables libres, parámetros del problema que el diseñador aplica en función de su criterio y antecedentes del problema, respetando el cumplimento de las restricciones impuestas, es decir, de acuerdo a los esfuerzos, minimizar tanto peso como costos.

4.2.1.1. Derivación de los Índices de Desempeño

En términos de cargas mecánicas sean estás estáticas o dinámicas podemos definir esta eficiencia como el cociente de la carga que un material puede soportar entre la masa o peso del material, para una geometría estructural definida.

$$Desempeño = \frac{C\,\mathrm{arg}\,a}{Peso} = \frac{P}{m}$$

La carga P es la máxima que puede soportar el material con base en el criterio de falla del material y el tipo de cargas que se encuentran en el material que son: tracción axial, compresión, pandeo, flexión y torsión o torcedura, como se muestra en la figura 4.4.

Para obtener el desempeño por costo, para obtener el mínimo costo, podemos definir la economía de un material como:

$$Economía = \frac{C\arg a}{Costo} = \frac{P}{\subset_m \cdot m}$$

Donde C_m es el costo del material por unidad de masa y m es la masa y P la carga máxima, para obtener así el costo en unidades de [$/kg].

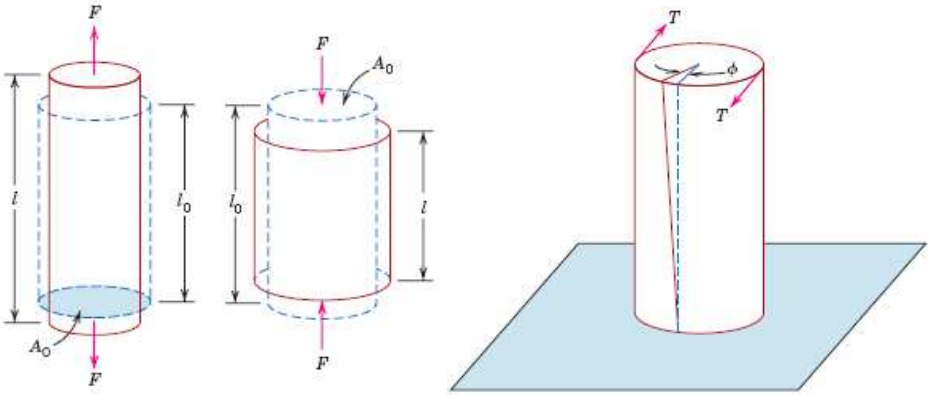


Fig. 4.4. Tipo de Cargas

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 134*

4.2.1.1.1. Determinación del Índice de Desempeño para minorizar el peso en caso de barra a tracción

Cuando está sometida a tracción, el material se extiende mientras soporta la carga, en este caso el criterio de falla es el esfuerzo de fluencia, después de esto sufre una deformación plástica, por lo cual el material no se puede recuperar.

El esfuerzo se puede definir como la carga dividida para el área al que está sometido el material, la ecuación sería así: $\sigma = \frac{F}{A}$

La deformación nominal se define como la variación de la longitud dividida para la longitud inicial, la ecuación sería así: $\varepsilon = \frac{lf - lo}{lo}$

La ley de Hooke define a que el esfuerzo es igual al módulo de Young ó de elasticidad multiplicado por la deformación, la ecuación sería la siguiente: $\sigma = E\varepsilon$

La masa correspondería en función de la densidad como la multiplicación del volumen por la densidad, la ecuación sería la siguiente: $m = AL\rho$, donde A es el área definida como $A = \pi r^2$, *L* la longitud y ρ la densidad.

Para obtener el índice de mérito para minimizar el peso se tiene que despejar la deformación de la ecuación de Hooke. Luego reemplazamos el área el esfuerzo en la ecuación anterior y despejando el área obtenemos una ecuación para reemplazar en la ecuación de masa en función de la densidad.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$
$$\varepsilon = \frac{F}{AE} \Rightarrow A = \frac{F}{\varepsilon E}$$
$$m = AL\rho$$
$$m = \frac{FL\rho}{\varepsilon E} = \frac{FL}{\varepsilon} \bullet \left[\frac{\rho}{E}\right]$$

Está ecuación obtenida separamos para obtener la densidad dividida para el módulo de elasticidad, y el índice de rendimiento sería el inverso del mismo.

$$\textit{Índice de Desempeño} = \frac{E}{\rho}$$

De la misma forma se obtiene para el esfuerzo si se quiere un material resistente y ligero a la vez.

$$\textit{Índice de Desempeño} = \frac{\sigma_f}{\rho}$$

De la misma manera realizamos los mismos cálculos para obtener el índice de rendimiento pero para minimizar costo u obtener economía de un material resistente y ligero, el índice sería $Índice\ de\ Desempeño = \frac{\sigma_f}{\subset_m \rho}$ un material rígido y ligero, el índice en este caso sería $Índice\ de\ Desempeño = \frac{E}{\subset_m \rho}$.

También se puede obtener los índices de desempeño y de economía para otras modalidades de carga y para diferentes formas estructurales. Por ejemplo para caso de barra a flexión se obtiene los siguientes cálculos:

$$\varepsilon = \frac{FL^3}{48EI} \therefore I = \frac{\pi r^4}{4}$$

$$\varepsilon = \frac{FL^3}{12\pi Er^4} \Rightarrow r^2 = \left(\frac{FL^3}{12\pi\varepsilon E}\right)^{1/2}$$

$$m = \pi r^2 L\rho$$

$$m = \pi\left(\frac{\pi FL^5}{12\varepsilon}\right)^{1/2} \bullet \left[\frac{\rho}{E^{1/2}}\right]$$

$$Índice\ de\ Desempeño = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

4.2.1.1.2. Pasos para determinar la derivación de los índices de desempeño

Los pasos generales para la derivación de un índice de desempeño, que constituyen la base para un método de selección óptima de material, se listan a continuación:

- Identificación de la función primaria del componente para el cual un material es buscado. Una viga soporta momentos de flexión; un resorte almacena energía elástica, un intercambiador de calor transmite calor, etc.
- Escribir una ecuación para el objetivo, llamada la función objetivo. El objetivo es la primera y más importante cantidad a ser maximizada o minimizada;

comúnmente es peso o costo, aunque puede ser cualquier otra propiedad, dependiendo de la aplicación.

- Identificación de las necesidades o restricciones. Son requerimientos de diseño que deben ser cumplidos y los cuales limitan el proceso de optimización.
- Eliminar las variables libres en la función objetivo mediante el uso de restricciones. Agrupar las propiedades de los materiales para obtener el "índice de desempeño", que maximiza o minimiza el valor de la función objetivo.

Cada combinación de una función, un objetivo y una restricción, conduce a un índice de desempeño que caracteriza la combinación. Tomando en cuenta que existe un gran número de estas combinaciones, se han derivado ya diversos índices de desempeño de acuerdo con las características del elemento. La Tabla 4.4 muestra algunos de ellos.

Tabla 4.4. Propiedades combinadas para maximizar los índices de desempeño

Forma del componente y modalidad de carga	Para rigidez	Para resistencia
Barra con carga axial de tensión, se especifican carga, rigidez, longitud; área de sección variable	$\frac{E}{\rho}$	$\frac{\sigma_f}{\rho}$
Barra o tubo con torsión, se especifican momento de torsión, rigidez, longitud; área de sección variable	$\frac{G^{1/2}}{\rho}$	$\frac{\sigma_f^{2/3}}{\rho}$
Viga, con carga externa o por peso propio con flexión; se especifican rigidez, longitud; área de sección variable	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$	$\frac{\sigma_f^{2/3}}{\rho}$
Columna-compresión axial, pandeo elástico o compresión plástica; se especifican carga de compresión y longitud; área de sección variable	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$	$\frac{\sigma_f}{\rho}$
Plancha, con carga externa o por peso propio con flexión; se especifican rigidez, longitud y anchura; el espesor es variable	$\frac{E^{1/3}}{\rho}$	$\frac{\sigma_f^{1/2}}{\rho}$

Fuente: *MANGONON Pat. Ciencia de Materiales. p. 439*

Existen también índices de desempeño no solo para la rigidez ó módulo de elasticidad y el esfuerzo, sino que también para la tenacidad y para otras propiedades.

Se tienen que tomar en cuenta los criterios de la resistencia a la falla, los mismos se describen a continuación.

- Esfuerzo de fluencia para materiales metálicos y polímeros.
- Resistencia a la compresión para materiales cerámicos y vidrios.
- Falla por tracción para materiales compuestos

4.2.1.2. Índice de desempeño considerando la forma

El rendimiento de un material está ligado con la forma de su sección y la modalidad de carga. La figura 4.6 muestra las aplicaciones según el tipo de sección y la forma de carga, para una sección circular expuestos a tracción para barras, para una sección estructural expuestos a flexión para vigas, para una sección tubular ó ejes macizos expuestos a torsión para árboles, para una sección cuadrada expuestos compresión para columnas. Algunos índices de rendimiento según la aplicación y la exposición de las cargas se describen en Anexos.

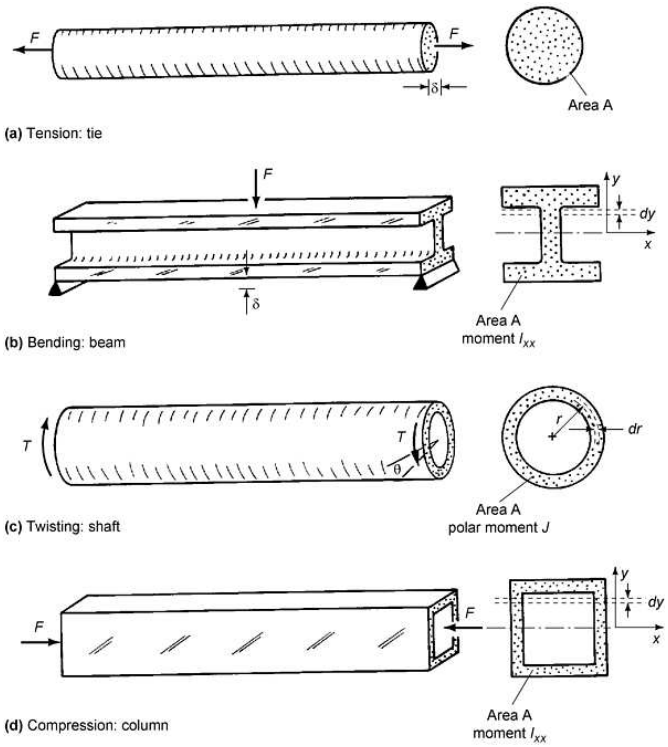


Fig. 4.5. Sección-Carga Expuesta-Aplicación

Fuente: *ASM. Metals Handbook. V20. Materials Selection & Design. p. 640*

4.2.2. MAPAS DE PROPIEDADES

Las propiedades de los materiales determinan el desempeño de los componentes. Sin embargo, rara vez este desempeño depende de una sola propiedad, ya que comúnmente la combinación de propiedades es de mayor importancia que sólo una de ellas. Por ejemplo, puede ser necesario un componente ligero (mínima masa), pero con la capacidad de soportar una carga definida (resistencia). Este caso involucra dos características del material, cuya relación resistencia-densidad es de mayor importancia para el diseño del componente.

Relaciones de este estilo son consideradas en la selección de materiales, lo que sugiere una forma distinta de presentar la información sobre características de los materiales. La idea original de este enfoque pertenece al profesor Michael Ashby. En su trabajo, este investigador presenta de manera gráfica una propiedad contra otra en un espacio que finalmente es ocupado por campos que representan las distintas clases de materiales conocidos.

Los mapas resultantes son útiles en distintas formas, pues condensan gran cantidad de información de una manera compacta y accesible, y revelan correlaciones entre las propiedades del material que son de ayuda en la revisión y estimación de datos. Asimismo, conducen a técnicas de optimización de desempeño, lo cual es de gran importancia en el proceso de selección.

Cada propiedad de un material de Ingeniería tiene un intervalo característico de valores. En los mapas de propiedades, estos valores se presentan de manera gráfica para facilitar la selección.

En este caso, una propiedad se grafica contra otra propiedad en una escala logarítmica, es decir, densidad vs módulo de elasticidad. La extensión de los ejes es elegida con la finalidad de incluir a todos los materiales, del más ligero al más pesado, y del más suave al más rígido. Puede verse entonces que los datos para una clase dada de materiales aparecen juntos en la carta dentro de un campo

bien definido, como se muestra en la figura. Tal campo encierra a todos los miembros de la clase.

Un gran número de propiedades mecánicas y térmicas caracterizan a un material, y determinan su uso en el diseño en Ingeniería; éstas incluyen densidad, módulo de elasticidad, resistencia, tenacidad, coeficiente de amortiguamiento y conductividad térmica, entre otras. Las cartas muestran información de estas propiedades para distintas clases de materiales, graficando los datos dentro de cada clase para un conjunto representativo de materiales. Los conjuntos se eligen de tal manera que se incluyan los miembros más comunes y mayormente utilizados de cada clase, además de que representen el intervalo completo del comportamiento de la clase. De esta forma, el campo para una clase encierra datos para prácticamente todos los miembros.

Los mapas muestran un intervalo de valores de cada propiedad, que puede variar en magnitud en función de otras características del material. El tratamiento térmico y el trabajo mecánico tienen un efecto significativo en la resistencia de fluencia, amortiguamiento y tenacidad de los metales, mientras que la cristalinidad y grado de *cross-linking* lo tienen en el módulo de elasticidad de los polímeros. Estas propiedades sensibles a la estructura aparecen en las cartas como burbujas alargadas dentro de los campos, conteniendo cada burbuja un intervalo típico para el valor de la propiedad para un solo material. De manera extensiva, los campos incluyen varias burbujas para una clase de materiales.

4.2.2.1. Aplicación de los índices de desempeño en los mapas de propiedades

Ahora veamos las aplicaciones de los índices de desempeño en los mapas de propiedades; en la figura 4.6 apreciamos el mapa de propiedad del módulo de elasticidad vs densidad, observemos primeramente los factores máximos correspondiente a la rigidez máxima con tracción axial y asignemos un valor ID, por lo tanto sería.

$$M = \frac{E}{\rho} \Rightarrow E = M\rho$$

El mapa de propiedad se encuentra en escala logarítmica, por lo tanto tomemos la ecuación en logarítmicos en ambos lados.

$$\log E = \log \rho + \log M$$

Está relación se le toma como un conjunto de valores de una recta llamada línea guía, es decir, toma valores de la ecuación de la recta *y=mx+b*, m siendo la pendiente en esta ecuación resultará 1. Se obtendrá de esta forma el valor de E si por ejemplo el valor de la densidad fuese $\rho = 1$, se obtendrá C y por ende E.

Todos los puntos de la recta línea guía corresponde al índice de desempeño, de esto podremos analizar que los valores que estén encima de la misma tienen valores del índice de desempeño mayores que M, y los que están por debajo de la línea tiene valores mas pequeños, con esto comprobamos que los índices de desempeño mas grandes los tienen los materiales cerámicos y compuestos. Ahora bien las paralelas que están sobre encima de la línea guía no son E/ρ, sino $E^{1/2}/\rho$, la razón es que el módulo de elasticidad tienen dimensiones de velocidad al cuadrado, esta es la velocidad del sonido en el material, por lo que el sonido se propaga en los sólidos mediante vibraciones elásticas de los átomos y, cuanto mayor es la velocidad del sonido, más alto es su tono y mayor será su resistencia.

En la figura 4.7 se observa que los elastómeros presentan los índices de desempeño y resistencias menores, y en los cerámicos como diamante se observa que tienen los valores más altos, en cuanto a resistencias e índices de desempeño. Los mapas de propiedades diseñados por el profesor Ashby son demasiado útiles, para definir restricciones en los mapas y obtener materiales probables.

Otras restricciones podemos ubicar en los demás mapas de propiedades, por ejemplo, si necesitamos un material que se encuentre sometido a temperaturas de trabajo mayores a 300º, en este caso los polímeros son materiales problemáticos por que pocos polímeros tienen temperaturas de transición vítrea mayores a 300ºC, otros materiales problemáticos sería el aluminio endurecido por precipitación debido a consideraciones de termofluencia y de reblandecimiento. Otras restricciones puede ser la corrosión, resistencia al impacto, oxidación, deterioración, etc.

En lo índices de desempeño que marca la economía de un material, observamos en la figura 4.15 y 4.16, los materiales de bajo costo relativo por unidad de volumen son los materiales como el concreto, la piedra, los hierros colados, los aceros dulces, y los productos naturales son relativamente más económicos en comparación con los demás materiales.

A continuación se detallará algunos mapas de propiedades de los materiales.

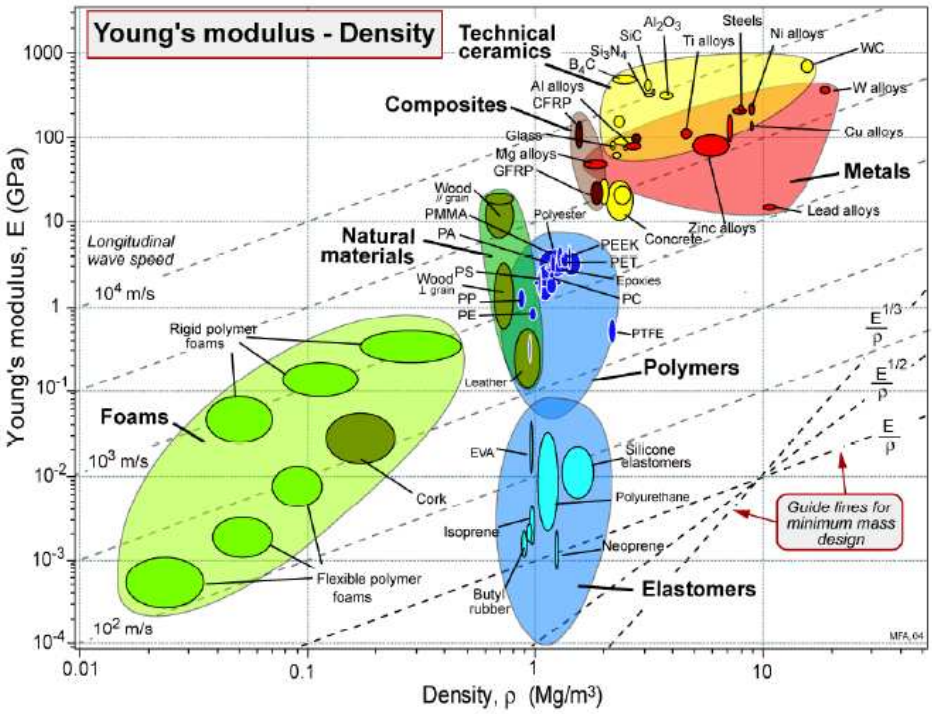


Fig. 4.6. Mapa de Propiedad del Módulo de elasticidad-Densidad

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 3. p.51*

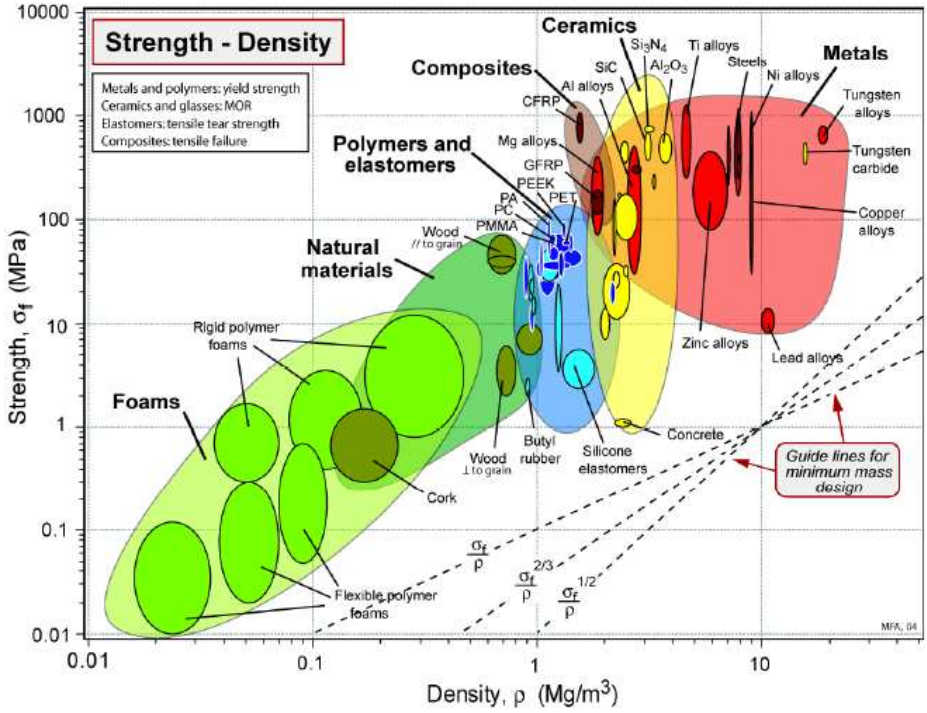


Fig. 4.7. Mapa de Propiedad del Esfuerzo-Densidad

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 3. p.54*

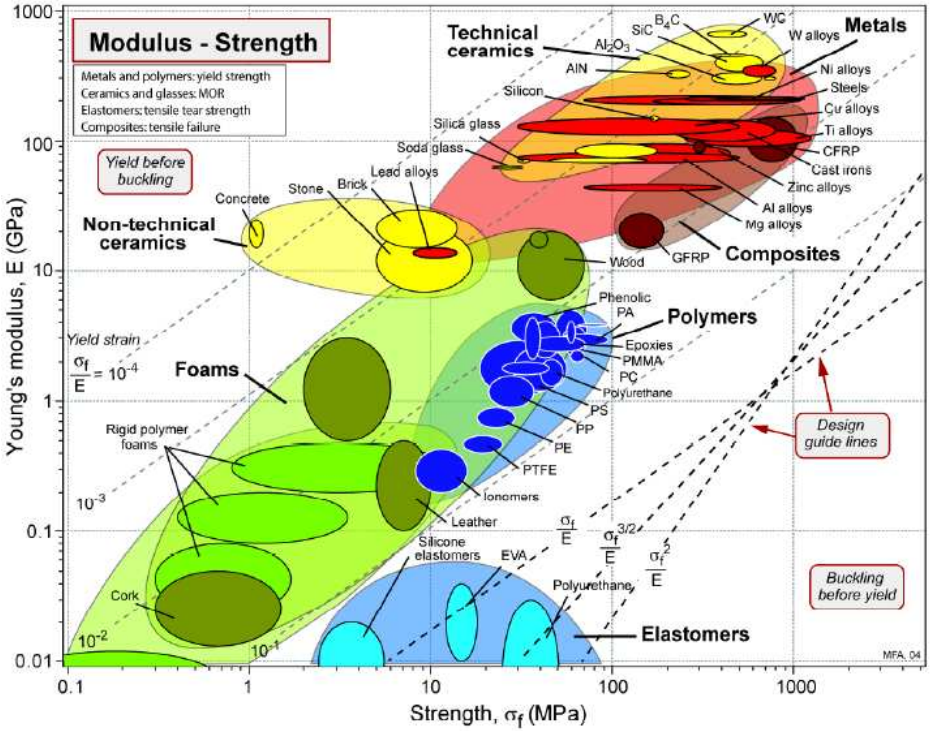


Fig. 4.8. Mapa de Propiedad del Módulo de elasticidad-Esfuerzo

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 3. p.56*

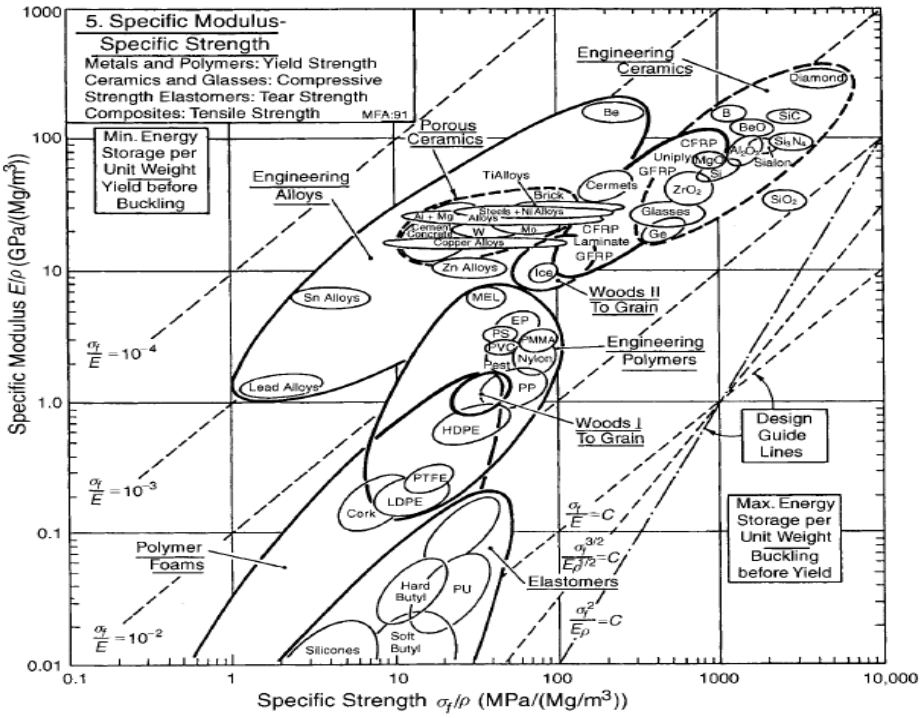


Fig. 4.9. Mapa de Propiedad del Módulo Específico-Esfuerzo Específico

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.44*

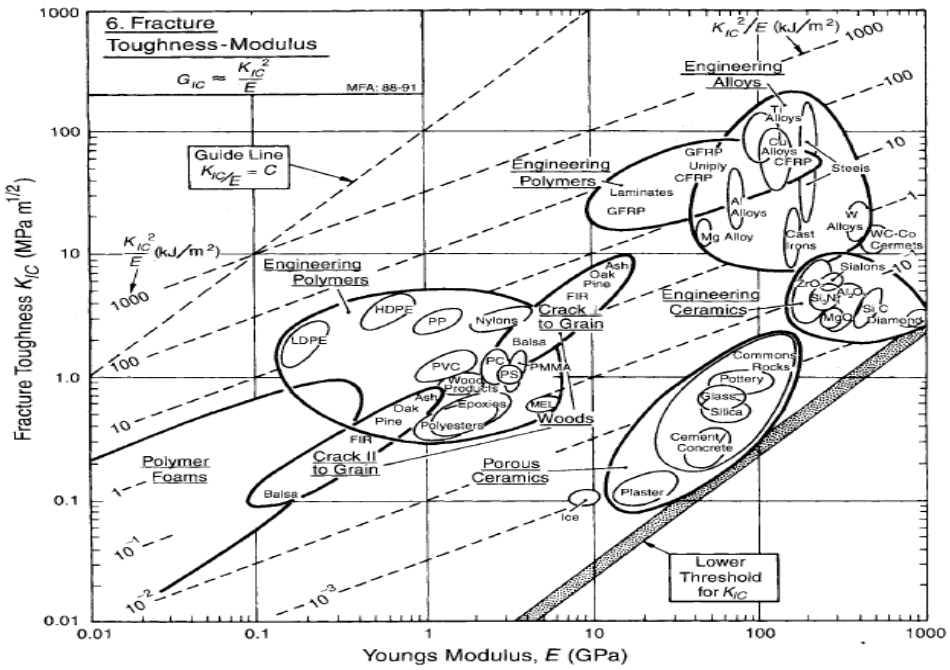


Fig. 4.10. Mapa de Propiedad del Tenacidad a la Fractura-Módulo de Young

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.59*

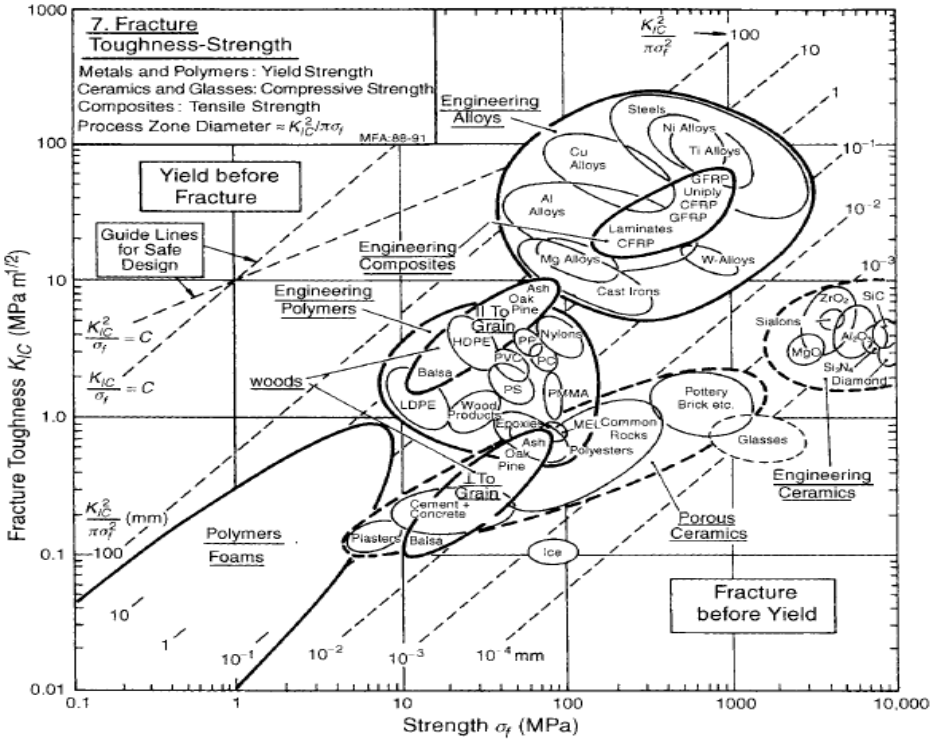


Fig. 4.11. Mapa de Propiedad del Tenacidad a la Fractura-Esfuerzo

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.47*

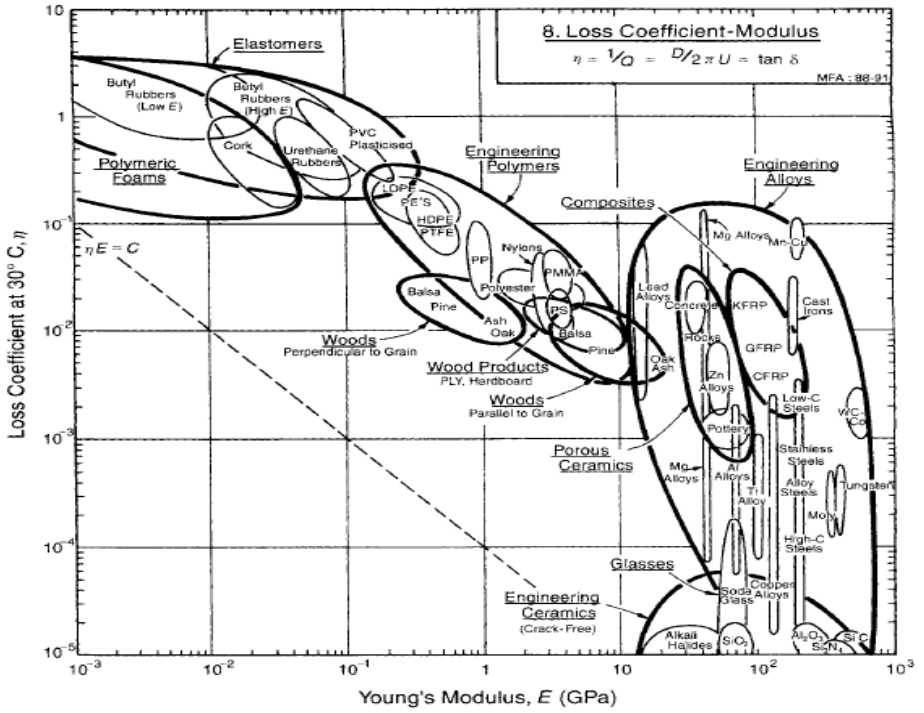


Fig. 4.12. Mapa de Propiedad de la Coeficiente de Pérdida-Modulo de Young

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.48*

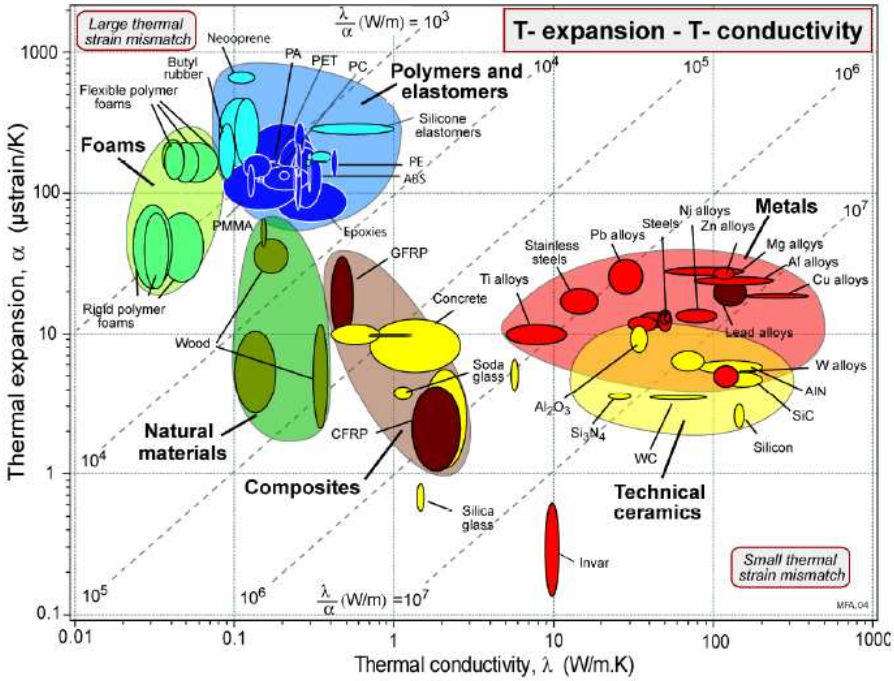


Fig. 4.13. Mapa de Propiedad del Coeficiente de Expansión Térmica-Conductividad Térmica

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 3. p.67*

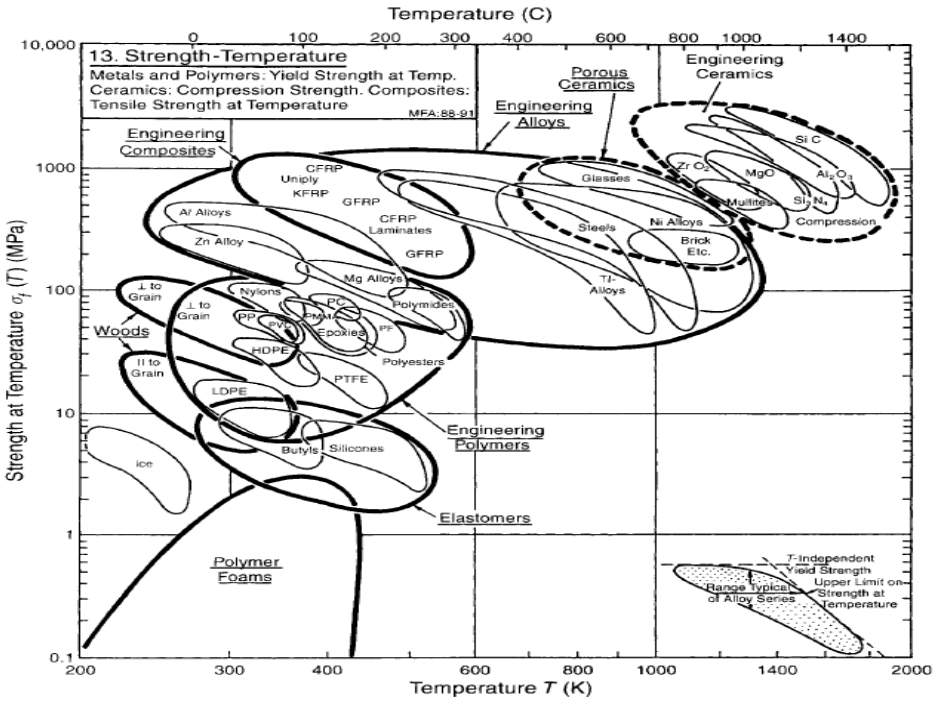


Fig. 4.14. Mapa de Propiedad del Esfuerzo-Máximo servicio de Temperatura

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.56*

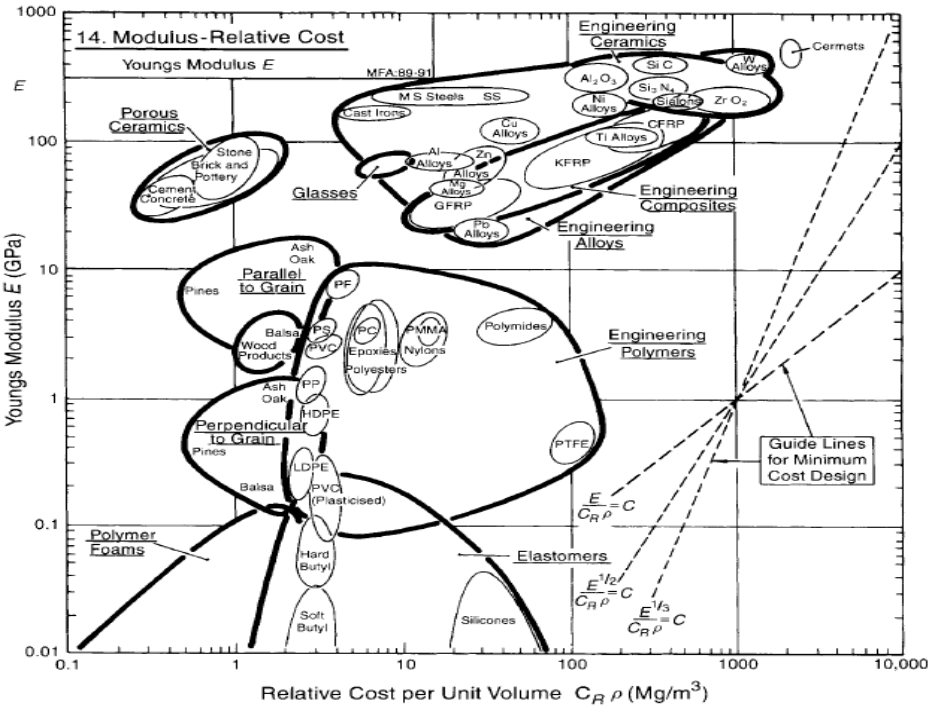


Fig. 4.15. Mapa de Propiedad de Módulo de elasticidad-Costo Relativo por unidad de volumen

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.57*

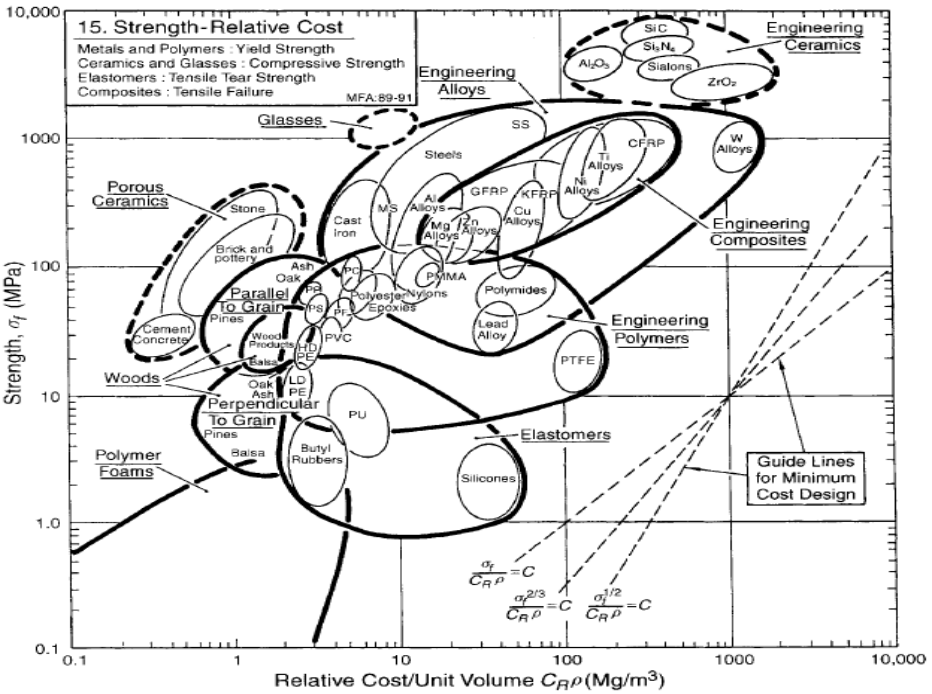


Fig. 4.16. Mapa de Propiedad del Esfuerzo-Costo Relativo por unidad de volumen

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.58*

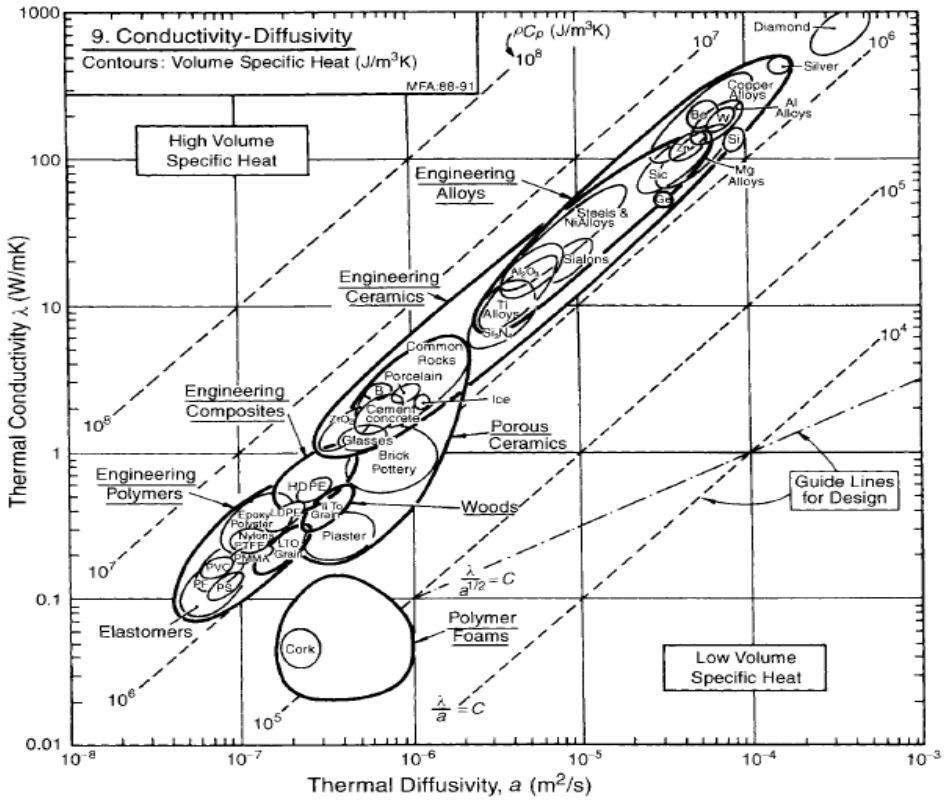


Fig. 4.17. Mapa de Propiedad de la Conductividad Térmica-Difusividad Térmica

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.49*

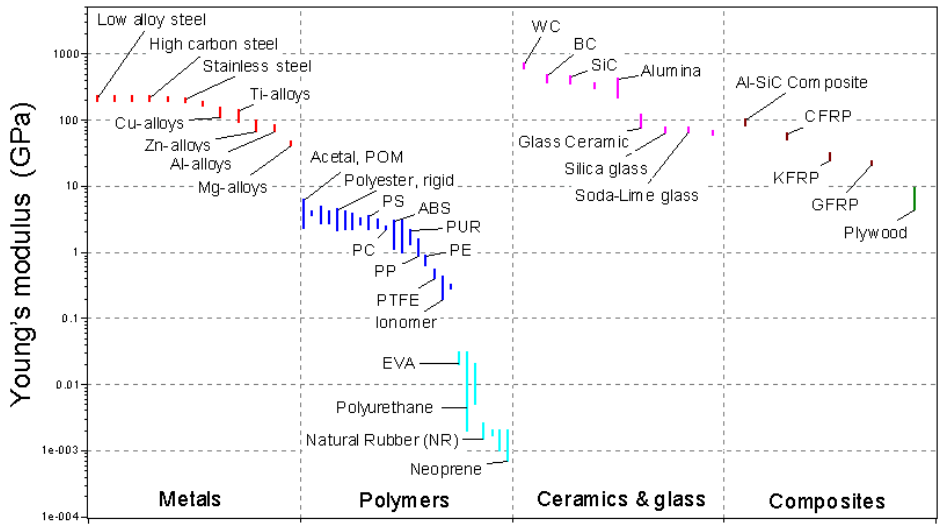


Fig. 4.18. Mapa de Propiedad del Módulo de elasticidad

Fuente: *Granta Design. CES 3.1*

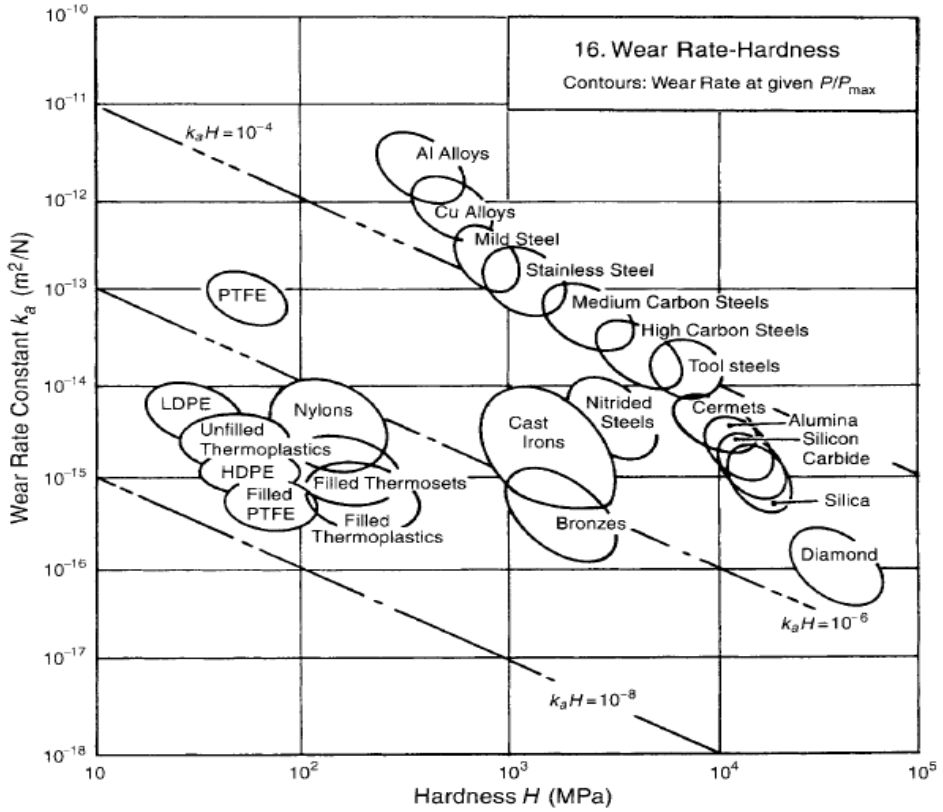


Fig. 4.19. Mapa de Propiedad de Constante Rata de Deterioro-Dureza

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.60*

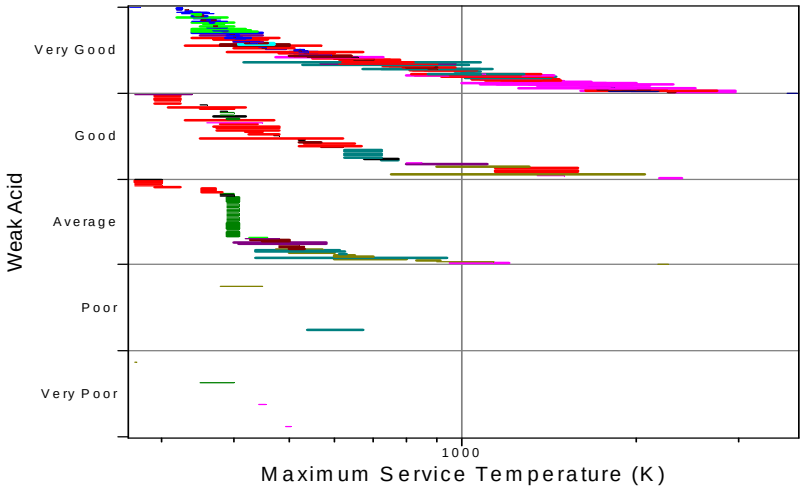


Fig. 4.20. Mapa de Propiedad de Resistencia a la Corrosión-Máximo Servicio de Temperatura

Fuente: *Granta Design. CES 3.1*

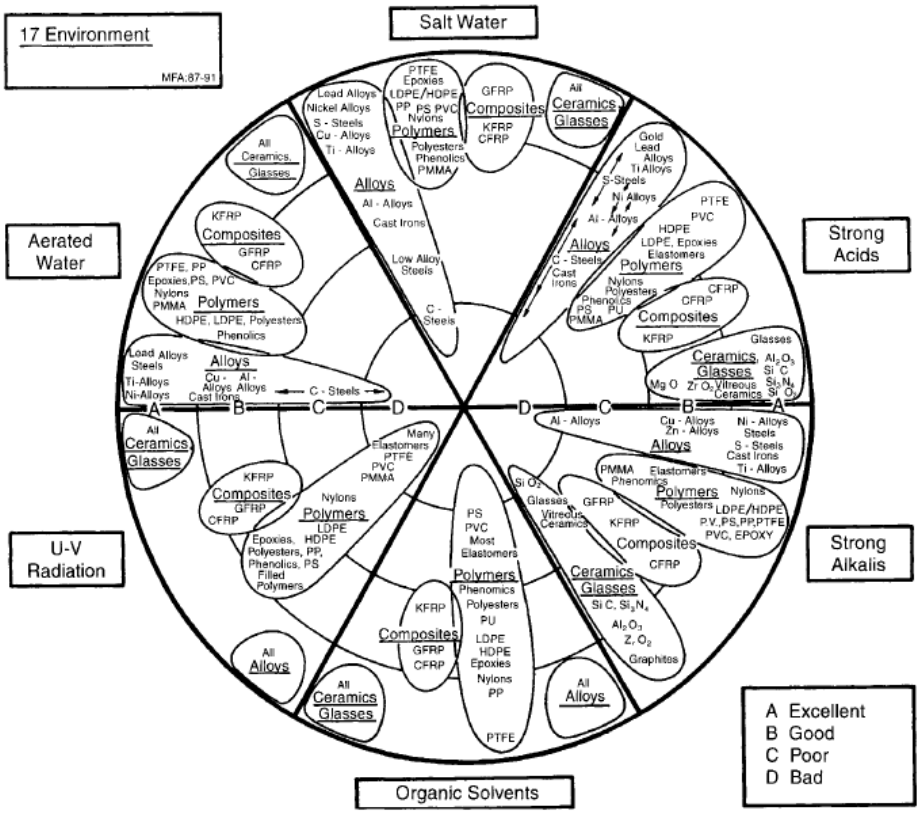


Fig. 4.21. Mapa de Propiedad de Resistencia al Ataque Atmosférico

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.62*

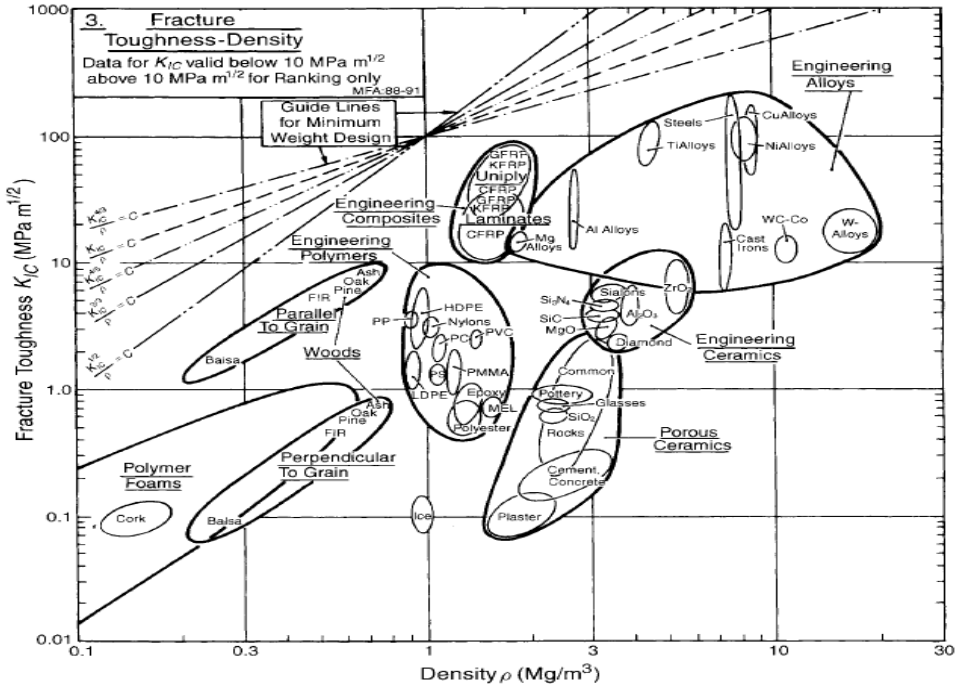


Fig. 4.22. Mapa de Propiedad de Tenacidad a la fractura-Densidad

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed. 2. p.41*

Estos son algunos mapas de propiedades, pero se puede obtener con el software CES, varios mapas como por ejemplo Coeficiente de expansión térmica-Conductividad Térmica, Conductividad Térmica - Densidad, Expansión térmica – Módulo de elasticidad, etc.

4.2.3. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA CES

Cambridge Engineering Selector (CES) es una herramienta para la selección racional de los materiales de ingeniería como metales, cerámicos, polímeros, compuestos y naturales, y la selección de procesos como la conformación, la fundición, maquinado, soldadura, tratamientos superficiales, tomando en cuenta el tipo de material. Con el CES podremos realizar[64]:

- Apoyar a las primeras fases de diseño, donde los materiales y el procesamiento de las opciones están abiertos.
- Rediseñar componentes en la selección de materiales para la menor "costo por unidad de función"
- Buscar equivalentes o sustitutos de una redundante o retirada de material
- Encontrar sustitutos de un material que ha fracasado en uso
- Validar un enfoque de diseño, lo que demuestra que ningún material o transformación opción ha sido pasado por alto
- Comunicarse y obtener apoyo para los nuevos materiales y el procesamiento de ideas
- Mejorar el proceso de diseño de estimular la pronta consideración de material y cuestiones relativas a la fabricación de nuevos productos de diseño

CES es una base de datos de materiales y proceso de propiedades, donde se puede verificar un universo de ellos y obtener así candidatos posibles para el diseño de un producto y es una herramienta de análisis que se basan en los métodos de Asbhy que le permite navegar u buscar información sobre materiales en un entorno gráfico y amigable para el usuario, desde las propiedades de los materiales.

[64] www.grantadesign.com

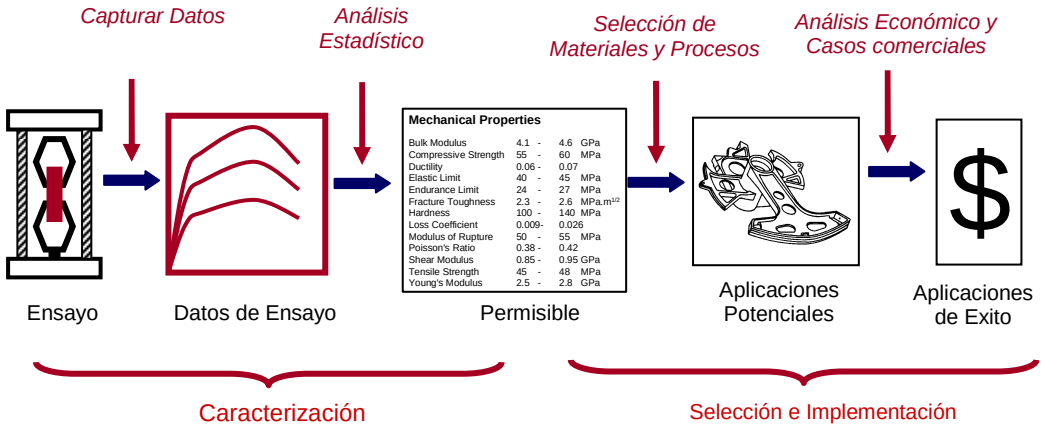


Fig. 4.23. Esquema de datos CES

Fuente: *I Simposio Internacional de Ingeniería de Mantenimiento Industrial ESPOCH 2008. Archivo ppt*

Los datos de propiedades son obtenidos de los diferentes ensayos que se han realizado, así con las codificaciones de distintas normas de organizaciones mundiales de materiales. Los mismos que están agrupados en un análisis estadístico para conseguir las aplicaciones potenciales y de ellos realizar un análisis económico.

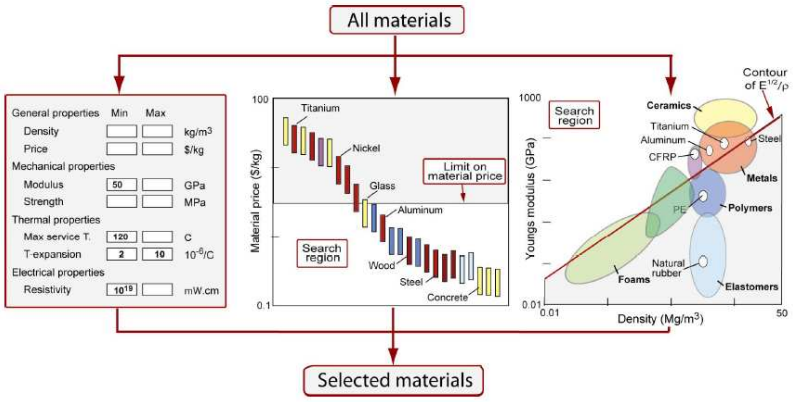


Fig. 4.24. Diagrama de Herramientas CES

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed 3. p.100*

El sistema cuenta con una tabla para introducir datos obtenidos del diseño, así como también los mapas de propiedades diseñados por Asbhy, esto ayudará a minorizar los materiales candidatos, para encontrar el material ideal, tomando en cuenta el costo.

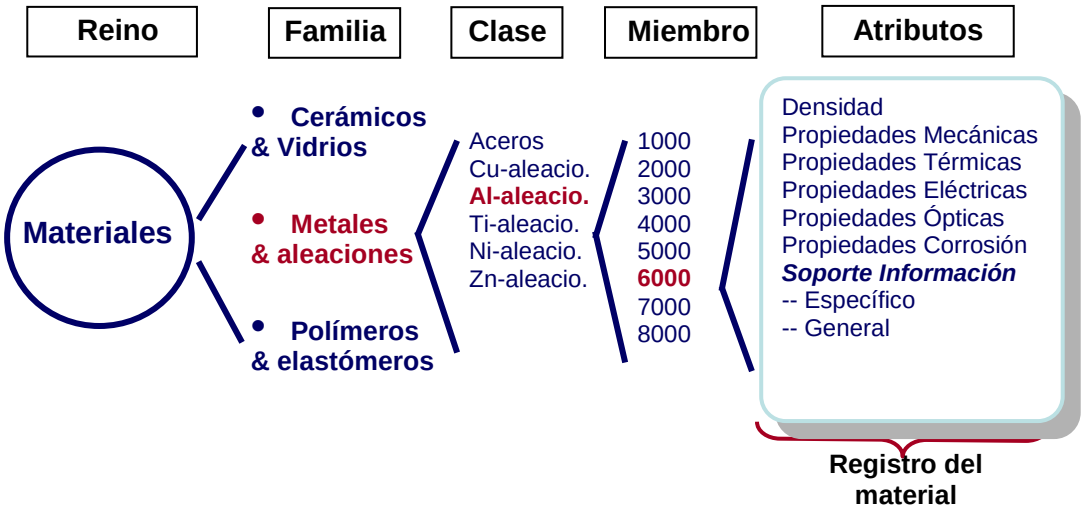


Fig. 4.25. Diagrama de Materiales CES

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed 3. p.81*

En la figura 4.24 observamos un Diagrama de Materiales, del mismo podremos obtener información detallada sobre los atributos de cada tipo de material, escogiendo por la familia, clase, y miembro.

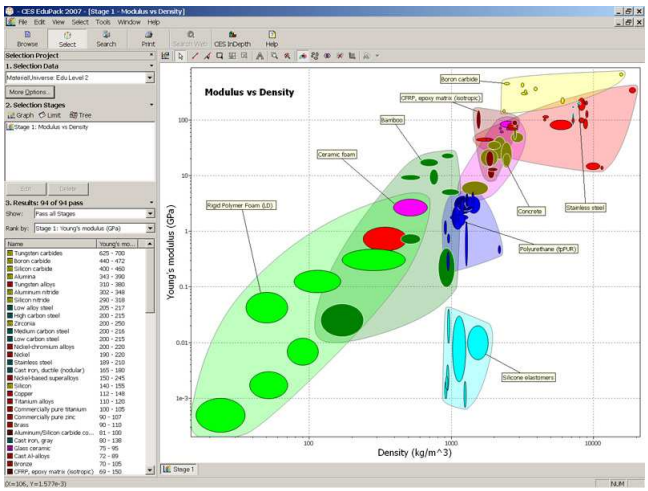


Fig. 4.26. Entorno CES

Fuente: *Granta Design. CES 3.1*

4.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y APLICACIONES

De acuerdo a los factores: físicos, mecánicos, de facilidad de procesamiento, de ciclo de vida de los componentes, de costo y disponibilidad, y de códigos de materiales y legales se describirán las aplicaciones más comunes por cada tipo de material.

4.3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN POR CADA CLASE DE MATERIAL

Todos los tipos de materiales se detallarán brevemente observando los factores e indicando los criterios adecuados para la selección de ese material, y dando ejemplos convenientes en las aplicaciones para un bien útil.

4.3.1.1. Aceros de bajo carbono

En cuanto costos son los de menor precio frente a los aceros a carbono con contenidos mayores al 0.25% de C, por que son los que se produce comercialmente en mayor cantidad por el menor costo que postula fabricar, en base a la teoría de oferta y demanda.

En cuanto a los criterios de propiedades, se lo define por su microestructura que consisten en ferrita + perlita y el esfuerzo de fluencia varía entre 325-380 MPa por lo que son materiales dúctiles y menos duros en comparación a los otros aceros al carbono.
Estos materiales no responden a un tratamiento térmico pero si a una deformación en frío por lo que se puede endurecer en este tipo de trabajo; es una aleación de hierro y carburo de hierro suave y débil pero con una ductilidad y tenacidad sobresaliente.

Hay que recalcar factor medio ambiental de los aceros, ya que el reciclaje es muy importante para la reutilidad del material en otros componentes necesarios. Todos

los materiales metálicos reciclados se les denominan chatarras y “representa el 40% de las necesidades mundiales de los aceros”[65]

La disponibilidad, como las especificaciones en el Ecuador está limitada, por cuanto los distribuidores mayoristas en aceros como Böhler e Ivan Bohman ofrecen el acero de transmisión SAE 1018 con una dureza de 163HB y 143max HB respectivamente. Y solo se ofrece en perfil redondo.

Tabla 4.5. Propiedades mecánicas de algunos aceros al bajo carbono

AISI/SAE o número ASTM	Resistencia a la tracción (psi x 10^3(MPa))	Límite elástico [psix10^3(MPA)]	Ductilidad (%EL en 2 pulg.)
Aceros bajos en carbono			
1010	47(325)	26(180)	28
1020	55(205)	30(205)	25
A36	58(400)	32(220)	23
A516 Grado 70	70(485)	38(260)	21

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 366*

4.3.1.2. Aceros de medio carbono

En las propiedades del material, las mismas pueden ser tratadas térmicamente para aumentar las propiedades mecánicas y con una velocidad de enfriamiento mayor, por lo que contiene mayor al 0.25% de carbono, la resistencia a la tracción varía para un acero de 0.4% de carbono entre 605-780 MPa, y el límite elástico para el mismo tipo de acero entre 430-585 MPa; al añadir cromo, níquel y molibdeno se mejora la capacidad de estas aleaciones de ser tratadas térmicamente, y aunque tiene mayor resistencia que los aceros de bajo carbono se sacrifica la ductilidad y tenacidad. En cuanto a costos y factores ambientales tienen parecida caracterización.

Tanto Böhler e Ivan Bohman entregan al público solo acero SAE 1045, entregado en recocido con una resistencia a la tracción de 580-700N/mm^2 y 65 kg/mm^2,

[65] http://www.wikipedia.com/wiki/acero.html

respectivamente en perfiles redondo, cuadrado, en lámina y platina, esto en base a disponibilidad y forma.

4.3.1.3. Aceros de alto carbono

Estos aceros son llamados también aceros al carbono para herramienta por cuanto su resistencia es la mayor en comparación a los aceros de baja y media aleación, por lo que cuenta con una microestructura de perlita + carburo de hierro, aunque son los menos dúctiles, tienen mayor resistencia al desgaste por lo que contiene carburos que ayudan a esta propiedad importante y son capaces de mantener un filo cortante cuando están en estado de revenido, esto en cuanto a las propiedades mecánicas. De acuerdo a la investigación realizada a las dos empresas distribuidoras de aceros, no cuentan con aceros de alto contenido de carbono.

Tabla 4.6. Propiedades mecánicas de algunos aceros de medio y bajo C

Número AISI	Número UNS	Intervalo de propiedades mecánicas		
		Resistencia a la tracción (psi x 10^3 (MPa)	Límite elástico (psi x 10^3 (MPa))	Ductilidad (%El en 2pulg.)
Aceros al carbono				
1040	G10400	88-113 (605-780)	62-85 (430- 585)	33-19
1080	G10800	116-190 (800-1310)	70-142 (480-980)	24-13
1095	G10950	110-186 (760-1280)	74-120 (510-830)	26-10

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 368*

4.3.1.4. Aceros HSLA

Son aceros de alta resistencia y baja aleación, por lo que los microaleantes como niobio, vanadio, titanio, níquel y molibdeno sumadas dan menos que el 10% y el porcentaje de carbono es menor al 0.1%. Posee mayor resistencia que los aceros al carbono, son dúctiles, formables y maquinables, y son mas resistentes a la corrosión que los aceros al carbono, y se denomina por ello acero estructural.

Tabla 4.7. Propiedades mecánicas de algunos aceros HSLA

AISI/SAE Grado	Resistencia a la tracción (psi x 10^3(MPa))	Límite elástico [psix10^3(MPA)]	Ductilidad (%EL en 2 pulg.)
Aceros de baja aleación y alta resistencia			
945	60 (415)	45 (310)	22-25
950	65 (450)	50 (345)	22
955	70 (483)	55 (380)	20
960	75(520)	60 (415)	18
965	80 (550)	65 (450)	16
970	85 (590)	70 (485)	14
980	95 (655)	80 (550)	12

Fuente: *SAE. Normas. J410c*

4.3.1.5. Aceros aleados

Existen una gran gama de este tipo de aceros por lo que se necesita tener una noción sobre la clasificación de los mismo, como ya vimos antes en el sistema AISI-SAE y UNS configura según el elemento de aleación principal, la adición de los elementos de aleación es para aumentar las propiedades del material, y es por que en la tabla 1.9 se describen la acción de cada elemento y así obtener una característica principal para poder seleccionar un material. En el diseño se impone pautas de aplicaciones según el elemento de aleación principal. En costos tiene que ser un material que cumpla con las expectativas económicas del cliente y su disponibilidad existe en el mercado acero al cromo-molibdeno, acero al níquel-cromo-molibdeno, acero al cromo y acero al níquel-cromo.

Tabla 4.8. Propiedades mecánicas de algunos aceros aleados

Número AISI	Número UNS	Intervalo de propiedades mecánicas		
		Resistencia a la tracción (psi x 10^3 (MPa)	Límite elástico (psi x 10^3 (MPa))	Ductilidad (%El en 2pulg.)
Aceros aleados				
4063	G40630	114-345 (786-2380)	103-257 (710-1770)	24-4
4340	G43400	142-284 (980-1960)	130-228 (895-1570)	21-11
6150	G61500	118-315 (815-2170)	108-270 (745-1860)	22-7

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 368*

4.3.1.6. Aceros inoxidables

A su diseño se tiene que tomar en cuenta los siguientes aspectos: el ambiente corrosivo de trabajo para obtener así un material adecuado, su campo magnético, su soldabilidad, el tipo de endurecimiento.

En cuanto a costos debe de ser el material más barato cuando se elija entre los mejores, y su disponibilidad en el Ecuador existen en el mercado comercial la familia de acero inoxidable austenítico de grados como son AISI 316L, 304, 304L, 321, 314, y acero inoxidable ferrítico de grado 430.

Tabla 4.9. Propiedades mecánicas de algunos aceros inoxidables

Número AISI	Número UNS	Condición	Propiedades Mecánicas		
			Resistencia a la tracción (psi x 10^3 (MPa))	Límite elástico (psi x 10^3 (MPa))	Ductilidad (%El en 2pulg.)
Ferrítico					
409	S40900	Recocido	65(448)	35(240)	25
446	S44600	Recocido	80(552)	50(345)	20
Austenítico					
304	S30400	Recocido	85(586)	35(240)	55
316L	S31603	Recocido	80(552)	35(240)	50
Martensítico					
410	S41000	Recocido Q y T	70(483)	40(275)	30
440A	S44002	Recocido Q y T	140(965)	100(690)	23
			105(724)	60(414)	20
			260(1790)	240(1655)	5
Precipitación					
17-7PH	S17700	Solución tratada	130(897)	40(275)	35
		Precipitación	215(1480)	195(1345)	9

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 369*

4.3.1.6.1. Aceros inoxidables ferríticos

Tiene una resistencia a la corrosión moderada a buena, especialmente en corrosión localizada, según el contenido de cromo en ambientes como agua dulce, en algunos ambientes químicos, y son solamente endurecidas moderadamente por trabajo en frío, son magnéticas y tiene pobre soldabilidad. En cuanto a costos son los aceros inoxidables más baratos por lo que su manufactura también es barata.

4.3.1.6.2. Aceros inoxidables austeníticos

Tiene una excelente resistencia a la corrosión; son endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico; excelente soldabilidad; tiene la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas, bajas temperaturas (criogénicas) previniendo la fragilización, y altas temperaturas (hasta 925℃); son esencialmente no magnéticos pero pueden ser magnéticos después de que son tratados en frío

4.3.1.6.3. Aceros inoxidables martensíticos

Moderada resistencia a la corrosión; son endurecibles por tratamiento térmico y por lo tanto se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza; son magnéticos y tiene una mala soldabilidad debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza y después de ser tratados para endurecimiento, generalmente son utilizados en procesos de maquinado y formado en frío.

4.3.1.6.4. Aceros inoxidables dúplex

En cuanto a sus propiedades estos materiales son magnéticos, no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico, buena soldabilidad, y la estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes con iones de cloruro.

4.3.1.6.5. Aceros inoxidables endurecibles por precipitación

Son aleaciones de hierro, cromo, níquel y es una alternativa a los aceros inoxidables austeníticos cuando se desea elevar las características mecánicas y de maquinabilidad, la alta resistencia mecánica se obtiene a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento y después del mismo se puede clasificar por su estructura de recocido como: austeníticos, semi-austeníticos o martensíticos

Tabla 4.10. Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables

Número AISI	Atmosférico moderado y agua dulce	Atmosférico		Agua Salada	Químico		
		Industrial	Marino		Moderado	Oxidante	Reductor
Austenítico							
201	X	X	X		X	X	
202	X	X	X		X	X	
205	X	X	X		X	X	
301	X	X	X		X	X	
302	X	X	X		X	X	
302B	X	X	X		X	X	
303	X	X			X		
303Se	X	X			X		
304	X	X	X		X	X	
304H	X	X	X		X	X	
304L	X	X	X		X	X	
304N	X	X	X		X	X	
S30430	X	X	X		X	X	
305	X	X	X		X	X	
308	X	X	X		X	X	
309	X	X	X		X	X	
309S	X	X	X		X	X	
310S	X	X	X		X	X	
317	X	X	X	X	X	X	X
321	X	X	X		X	X	
329	X	X	X	X	X	X	X
330	X	X	X	X	X	X	X
347	X	X	X		X	X	
347H	X	X	X		X	X	
348	X	X	X		X	X	
348H	X	X	X		X	X	
384	X	X	X		X	X	
Ferrítico							
405	X				X		
409	X				X		
429	X	X			X	X	
430	X	X			X	X	
430F	X	X			X		
430FSe	X	X			X		
434	X	X	X		X	X	
436	X	X	X		X	X	
442	X	X			X	X	
446	X	X	X		X	X	
Martensítico							
403	X				X		
410	X				X		
14	X				X		
416	X						
416Se	X						
420	X						
420F	X						
422	X						
431	X	X	X		X		
440A	X				X		
440B	X						
440C	X						
Precipitación							
Ph-13	X	X			X	X	
15-5 PH	X	X	X		X	X	
17-4 PH	X	X	X		X	X	
17-7 PH	X	X	X		X	X	

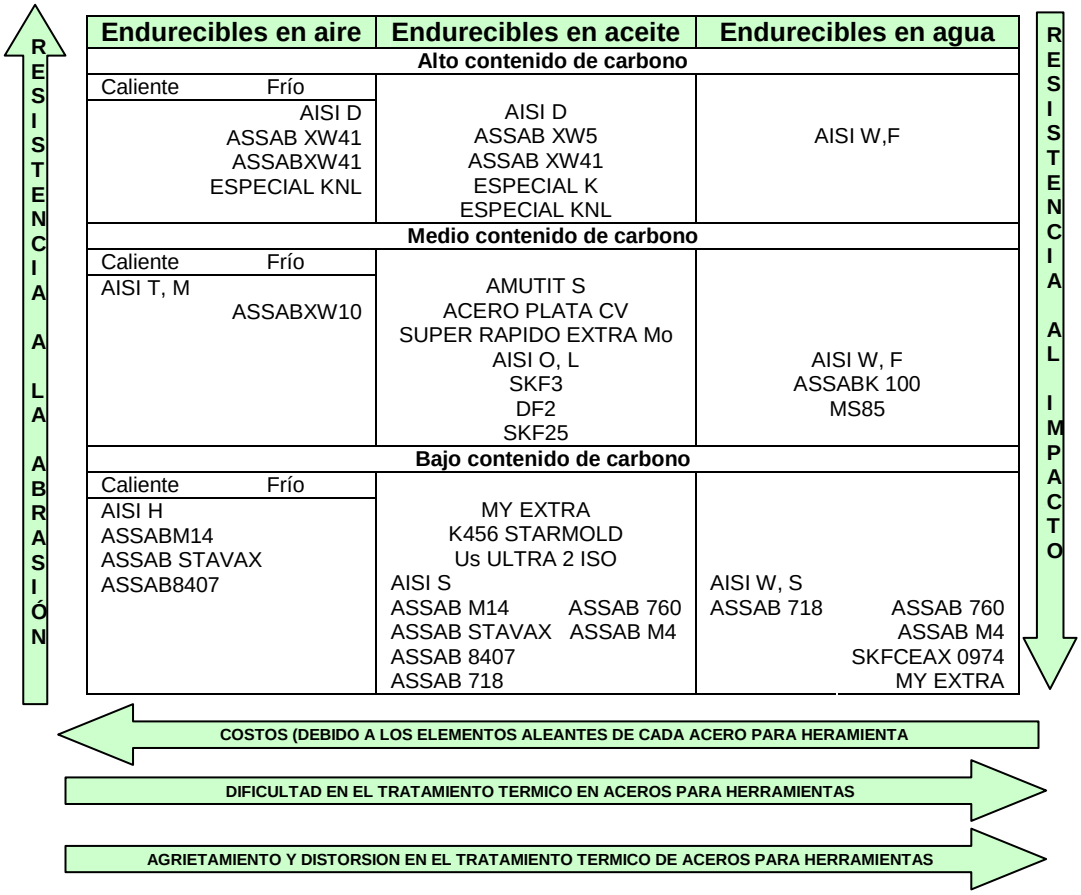
Fuente: *MANGONON Pat. Ciencia de Materiales. p. 513*

4.3.1.7. Aceros para herramientas

En el criterio del diseño debe ser apropiado la herramienta, según el material al que va a trabajar, la precisión con que se elabora la herramienta y la aplicación del tratamiento térmico adecuado de la misma.

En criterio de sus propiedades los aceros para herramientas se seleccionan en base a su resistencia al reblandamiento a temperaturas elevadas o su capacidad para conservar su alta dureza en caliente, a su resistencia al desgaste, a la deformación y a la ruptura, y a su tenacidad, de modo que absorba la aplicación súbita de cargas.

Tabla 4.11. Cuadro de selección de aceros para herramienta -grados



Fuente: *ESPINOSA Diego. Profesor Principal EPN*

Por el costo debe de ser un acero para herramientas barato, sin que afecte a las propiedades óptimas a las que va estar sometido. Y a disponibilidad, las

empresas distribuidoras de acero son especialistas en esta materia, ya que en su gama podremos encontrar un sin número de aceros, aunque también es limitado; comercializan aceros para herramientas según designación AISI con tres tipos de familia como son: para trabajos en frío, trabajos en caliente, para moldes plásticos y aceros para alta velocidad.

4.3.1.8. Fundiciones

Los requisitos de propiedades y funcionales de una pieza fundida, se debe considerar los esfuerzos que la pieza puede soportar y si está limitada por su resistencia o rigidez, la resistencia al desgaste y las condiciones ambientales que la pieza estará expuesta como la presencia de vibraciones, la atmósfera de trabajo y la temperatura.

Los costos también es un factor muy importante, y es directamente proporcional con la cantidad de producción.

4.3.1.8.1. Fundición Gris

Este tipo de materiales contiene entre 2.5-4% de C y 1-3% de Si y tienen una resistencia al desgaste mayor que la de los aceros por la presencia del grafito por que actúa como lubricante natural por lo que amortigua las vibraciones veinte veces mas que los aceros, facilidad de colado, y el costo es bajo en comparación con los otros tipo de fundiciones.

Una de las grandes ventajas que tiene la fundición es que es reciclable, en el aspecto del medio ambiente, ya que su proceso de fabricación es el que su nombre lo indica. La norma A48 clasifica a la fundición gris por grados tomando en cuenta el esfuerzo de fluencia, desde 20 a 60 en [ksi]. Las desventajas de este tipo de fundición es que dureza es baja, resistencia al impacto demasiada baja es decir frágil, no tiene módulo de elasticidad constante (no existe zona plástica) y tiene grietas en el interior por lo que no se utiliza en tracción ni en flexión por lo que el grafito actúa como concentrador de tensiones, pero en compresión la

resistencia y la ductilidad son mayores. Fundiec es una de las empresas más grandes, donde se puede obtener una gama de productos fundidos. El mayor fuerte del mismo es la fundición Gris.

4.3.1.8.2. Fundición Nodular ó Dúctil

Sus propiedades son mucho mejores, tiene propiedades parecidas a los de los aceros, son dúctiles y muy resistentes, porque los nódulos evitan el concentrador de tensiones de flóculos de grafito, tiene resistencia a la tracción entre 380 y 480 MPa y una ductilidad del 10 al 20%

4.3.1.8.3. Fundición Maleable

Tanto la ductilidad y la resistencia a la tracción es menor porque varía entre 345 y 448 MPa y 6-10% respectivamente y su límite elástico 224 a 310 MPa, es una fundición muy dura pero y muy frágil al mismo tiempo pues se obtiene de la fundición blanca.

Tabla 4.12. Propiedades mecánicas de algunos aceros inoxidables

Grado	Número UNS	Estructura de la Matriz	Propiedades Mecánicas		
			Resistencia a la tracción (psi x 10^3 (MPa))	Límite elástico (psi x 10^3 (MPa))	Ductilidad (%El en 2pulg.)
Fundición Gris					
SAE G250	F10005	Perlita+ Ferrita	25(173)	-	-
SAE G4000	F10008	Perlita+ Ferrita	40(276)	-	-
Fundición Dúctil					
ASTM A536 60-40-18	F32800	Ferrita	60(144)	40(276)	18
100-70-03	F34800	Perlita	100(690)	70(483)	3
120-90-02	F36200	Martensita templada	120(828)	90(621)	2
Fundición Maleable					
32510	F22200	Ferrita	50(345)	32(224)	10
45006		Ferrita + perlita	65(448)	45(310)	6

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 373*

4.3.1.9. Aluminio y sus Aleaciones

En base a las propiedades del aluminio y sus aleaciones, el mismo se escoge por su baja densidad, elevadas conductividades eléctricas y térmicas y resistencia a la corrosión en algunos medios.

Según la designación del aluminio, se dividen en forjadas y fundidas, dentro de las forjadas se encuentran las aleaciones no termotratables y termotratables; las aleaciones no termotratables presentan resistencia a la fluencia y a la tensión, por lo que son fácilmente conformables es decir son capaces de endurecerse por precipitación.

Las aleaciones termotratables son aleaciones que se eligen fundamentalmente para aplicaciones estructurales por su gran resistencia mecánica, su baja densidad y su gran resistencia a la corrosión, por lo que se utiliza especialmente en la industria aeronáutica. Las aleaciones de aluminio fundido ó para moldeo proporcionan fluidez y la moldeabilidad por el contenido de silicio, los mismos también se clasifican en termotratables y no termotratables.

Tabla 4.13. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio

Número de la Aluminum Association	Número UNS	Condición	Propiedades mecánicas		
			Resistencia a la tracción (psi x 10^3 (MPa)	Límite elástico (psi x 10^3 (MPa))	Ductilidad (%El en 2pulg
Aleaciones forjadas no tratables térmicamente					
1100	A91100	Recocido	13(90)	5(34)	35
3003	A93003	Recocido	16(110)	6(42)	30
5052	A95052	Recocido	28(195)	13(90)	25
Aleaciones forjadas tratables térmicamente					
2014	A92014	Tratamiento térmico	70(485)	60(415)	13
6061	A96061	Tratamiento térmico	45(310)	40(275)	12
7075	A97075	Tratamiento térmico	83(580)	73(505)	11
Aleaciones fundidas tratables térmicamente					
295.0	A02950	Tratamiento térmico	36(250)	24(165)	5
356.0	A03560	Tratamiento térmico	33(230)	24(165)	4

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 379*

4.3.1.10. Cobre y sus aleaciones

Por criterios mecánicos el cobre sin alear es muy blando y dúctil, difícil de mecanizar y de realizarse trabajos en frío, pero resiste muy bien a la corrosión en muchos medios de trabajo, la resistencia mecánica mejora con los elementos de aleación. Para ello existen algunos factores que deben ser tomados en cuenta en una selección, por la conductividad eléctrica y térmica, resistencia a la corrosión, facilidad de procesamiento, resistencia mecánica y dureza, y color. Las aleaciones de cobre forjadas tienen una característica especial que es el color, por lo que se puede identificar fácilmente.

Tabla 4.14. Aleaciones de cobre forjadas de color controlado

Número UNS	*Nombre Común*	*Descripción color*
C11000	Cobre electrolítico tenaz	Rosa pálido
C21000	Latón de dorar	Rojo parduzco
C22000	Bronce comercial, 90%	Bronce dorado
C23000	Latón cobrizo o rojo, 85%	Canela dorado
C26000	Latón de cartucho, 70%	Verde dorado
C28000	Metal de Muntz, 60%	Pardo dorado claro
C63800	Bronce al aluminio	Oro
C65500	Broncea al alto silicio	Azul lavanda parduzco
C70600	Cobre-níquel, 10%	Azul lavanda pálido
C74500	Plata-níquel, 65-10	Gris-blanco
C75200	Plata-níquel, 65-18	Plata

Fuente: *MANGONON Pat. Ciencia de Materiales. p. 588*

El cobre es el mejor conductor eléctrico y térmico, y el más catódico de los metales comerciales de grado técnico. Estas aleaciones ofrecen un color atractivo combinado con sus propiedades, la norma UNS lo designa. En la designación UNS se encuentran específicamente seis familias muy importantes, y se describirán a continuación.

4.3.1.10.1. Cobre

Estos materiales se van a elegir por su conductividad eléctrica, con los cobres libres de oxígeno, estos son normalmente endurecidos por trabajo en frío, aunque facilitan su manejo disminuye su conductividad eléctrica.

Cuando se requiere temperaturas altas que es lo que se presenta en las operaciones de soldadura y de envasado de semiconductores, estos materiales de reblandecen y es necesario por ejemplo un cobre con plata, ó con cadmio, según sea la necesidad, y donde se necesita la resistencia al reblandecimiento también es e los dispositivos electrónicos.

4.3.1.10.2. Aleaciones ricas en cobre

Estas aleaciones se subdividen en termotratables y endurecibles por precipitación.

Un ejemplo de estas aleaciones de cobre es Cu-Be que se subdividen en rojas y doradas, estos materiales tienen un buen límite de fluencia sin tratamiento térmico de 170-550 MPa y 205-690 MPa respectivamente y después de ser envejecidas pueden obtener un límite de fluencia de 895 MPa y 1380 MPa.

4.3.1.10.3. *Latones*

Estas aleaciones es una de las más conocidas dentro del país, aunque tienen una conductividad respetable estos se eligen más por su buena resistencia mecánica, formabilidad y resistencia a la corrosión, y son maquinables.

4.3.1.10.4. *Bronces*

Este tipo de materiales se eligen más por la alta resistencia a la corrosión, la buena maquinabilidad, aunque tienen un alto costo por el proceso y la demanda.

4.3.1.10.4.1. *Bronces al estaño*

Estas aleaciones presentan una excelente resistencia mecánica y tenacidad con una moderada ductilidad, y son más resistentes a la corrosión que los latones y menos susceptibles al agrietamiento por corrosión con esfuerzo.

4.3.1.10.4.2. *Bronces fosfórico*

Este tipo de bronces tiene excelente maquinabilidad por la adición de fósforo, y tienen una resistencia parecida al de los aceros.

4.3.1.10.4.3. *Bronces al aluminio*

Son las aleaciones con mayor dureza por el porcentaje de aluminio adicionado con mas del 9% de Al, el proceso de endurecimiento que se realiza es del recocido después del temple y el tipo de endurecimiento es tipo martensítico.

4.3.1.10.5. *Cuproníqueles*

Son aleaciones de cobre-níquel y contiene del elemento de aleación principal de 3-30%. Tienen una gran resistencia a la corrosión por picadura por lo que se utiliza especialmente en la industria naval.

4.3.1.10.6. *Platas Níquel*

Aleaciones de cobre-níquel-zinc que tienen una gran resistencia mecánica y buena ductilidad, por lo que tiene facilidad de conformado en estampado, laminación ó embutición.

Tabla 4.15. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de cobre

Nombre de la aleación	Número UNS	Condición	Propiedades mecánicas		
			Resistencia a la tracción (psi x 10^3 (MPa)	Límite elástico (psi x 10^3 (MPa))	Ductilidad (%El en 2pulg.)
Aleaciones forjadas					
Cobre al berilo	C17200	Recocido	68(470)	25(172)	48
		Endurecimiento por precipitación	165(1140)	145(1000)	7
Latón de cartuchería	C26000	Recocido	44(303)	11(76)	66
Bronce fosforoso, 5% A	C51000	Recocido	47(324)	19(131)	64
Cobre al níquel, 30%	C71500	Recocido	54(372)	20(138)	45
Aleaciones fundidas					
Latón ordinario con plomo	C85400	Moldeada	34(234)	12(83)	35
Bronce estañado	C90500	Moldeada	45(310)	22(152)	25
Bronce al aluminio	C95400	Moldeada	85(586)	35(241)	18

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 377*

4.3.1.11. Magnesio y sus aleaciones

Estas aleaciones cuentan con una baja densidad, más que el del aluminio, por lo que se aplica en sistemas estructurales, por cuanto tiene una gran resistencia específica y módulo, pero tiene una ductilidad limitada, y es susceptible a la corrosión, por lo que necesita extremados controles.

Tabla 4.16. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de magnesio

Número ASTM	Número UNS	Condición	Propiedades mecánicas		
			Resistencia a la tracción (psi x 10^3 (MPa	Límite elástico (psi x 10^3 (MPa))	Ductilidad (%El en 2pulg
Aleaciones forjadas					
AZ80A	M11800	Extrusión	49(340)	36(250)	11
HM31A	M13312	Envejecimiento artificial	37(255)	26(179)	4
ZK60A	M16600	Envejecimiento artificial	51(350)	41(285)	11
Aleaciones fundidas					
AZ92A	M11920	Moldeo	25(170)	14(97)	2
EZ33A	M12330	Envejecimiento artificial	23(160)	16(110)	3
AZ91A	M11910	Moldeo	33(230)	24(165)	3

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 381*

4.3.1.12. Titanio y sus aleaciones

Estos son materiales nuevos, que se utilizan especialmente en la industria aeroespacial por su gran resistencia específica, baja densidad, elevada temperatura de fusión, su resistencia a la corrosión, son muy dúctiles y muy fácilmente forjables y maquinables.

La desventaja es que tiene una limitada relatividad química a elevada temperatura con otros materiales, por lo que fue necesario desarrollar algunas técnicas para obtener las aleaciones de titanio.

Tabla 4.17. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de titanio

Tipo de aleación	Número UNS	Condición	Propiedades mecánicas		
			Resistencia a la tracción (psi x 10^3 (MPa	Límite elástico (psi x 10^3 (MPa))	Ductilidad (%El en 2pulg
Puro (comercialmente)	R50550	Recocido	75(517)	65(448)	25
α	R54521	Recocido	125(8612)	117(807)	16
$\alpha - \beta$	R56401	Recocido	144(993)	134(924)	14
β	R58010	Endurecimiento por precipitación	177(1220)	170(1172)	8

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 382*

4.3.1.13. Níquel y sus aleaciones

Este tipo de aleaciones se les selecciona por su gran resistencia a la corrosión y al calor; cuando el níquel se fusiona con otros materiales es capaz de formar aleaciones tenaces y dúctiles.

4.3.1.14. Plomo, Estaño y sus aleaciones

Estos materiales mecánicamente son blandos y plásticos, con baja temperatura de fusión, y muy resistentes a la corrosión ambiental y temperaturas recristalización inferiores a la temperatura normal.

4.3.1.15. Zinc y sus aleaciones

El zinc se utiliza especialmente para tratamiento superficial de los aceros, a este proceso se le conoce como galvanizado, y también como ánodo de sacrificio.

4.3.1.16. Metales Preciosos

Estos materiales son resistentes a la oxidación y corrosión, blandos, dúctiles y resistentes al calor; en base al costo son caros. Los materiales que se encuentran en esta familia se encuentran la plata, el oro, platino, paladio, rodio, rutenio, iridio, y osmio.

4.3.1.17. Materiales Cerámicos

Sus características principales son: alta temperatura de fusión, alta resistencia a la compresión, dureza cuando se requiere una acción abrasivo o de desbaste (son los materiales con mayor dureza), la fluencia al caliente al estar expuestos a tensiones de compresión a altas temperaturas, influencia de la porosidad, aunque son tenaces porque no pueden absorber tanta energía.

Tabla 4.18. **Módulos de rotura (resistencia a la flexión) y módulos de elasticidad para ocho materias cerámicos comunes**

Material	Módulo de rotura		Módulo de elasticidad	
	Psi x 10^3	Mpa	Psi x 10^6	Mpa x 10^4
Carburo de titanio[a] (TIC)	160	1100	45	31
Óxido de Aluminio[a](Al_2O_3)	30-50	200-345	53	37
Óxido de berilio[a] (BeO)	20-40	140-275	45	31
Carburo de Silicio[a] (SiC)	25	170	68	47
Óxido de magnesio[a](MgO)	15	105	30	21
Espinela[a] ($MgAl_2O_4$)	13	90	35	24
Sílice vítrea	16	110	11	7.5
Vidrio	10	70	10	7

[a] Sinterizado y con alrededor de 5% de porosidad

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 419*

Tabla 4.19. **Dureza Knoop aproximada (carga = 100g) de siete materiales cerámicos**

Material	Dureza Knoop aproximada
Diamante (carbono)	7000
Carburo de boro (B_4C)	2800
Carburo de silicio (SiC)	2500
Carburo de tungsteno (WC)	2100
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	2100
Cuarzo (SiO_2)	800
Vidrio	550

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 423*

4.3.1.18. Materiales Polímeros

En el diseño de componentes con plásticos, en condiciones de esfuerzos se tiene que conocer algunas propiedades en condiciones de esfuerzo. La fractura de los polímeros es menor que los metálicos y cerámicos, baja densidad, baja temperatura de fusión, la dureza y la resistencia a la torsión. Si son los esfuerzos son cíclicos puede producirse una falla por fatiga por lo que sería una gran desventaja. Los elastómeros se seleccionan en base a su elongación y a su temperatura de trabajo.

En cuestión de costos de materia prima y de manufactura son materiales más baratos. Y a factores de ambiente son materiales reciclables, a esta cuestión los termoplásticos se han elegido por que se pueden volver a manufacturar. Algunas propiedades de los plásticos se encuentran descritas en las tablas siguientes, para su facilidad de elección.

Tabla 4.20. Propiedades mecánicas a temperatura ambiente de los polímeros más comunes

Material	Densidad	Módulo elástico (psi x 10^5 (MPa x 10^2))	Resistencia de tracción (psi x 10^3 (MPa))	Alargamiento a la rotura (%)	Resistencia al impacto[a] (ft-lb $_f$ /in.)
Polietileno (baja densidad)	0.917-0.932	0.25-0.41 (1.7-2.8)	1.2-4.6 (8.3-31.7)	100-650	No se rompe
Polietileno (alta densidad)	0.952-0.965	1.55-1.58 (10.6-10.9)	3.2-4.5 (22-31)	10-1200	0.4-4.0
Cloruro de polivinilo	1.30-1.58	3.5-6.0 (24-41)	5.9-7.5 (41-52)	40-80	0.4-22
Politetrafluoretileno	2.14-2.20	0.58-0.80 (4.0-5.5)	2.0-5.0 (14-34)	200-400	3
Polipropileno	0.90-0.91	1.6-2.3 (11-16)	4.5-6.0 (31-41)	100-600	0.4-1.2
Poliestireno	1.04-1.05	3.3-4.8 (23-33)	5.2-7.5 (36-52)	1.2-2.5	0.35-0.45
Poli(metacrilato de metilo)	1.17-1.20	3.3-4.7 (22-32)	7.0-11.0 (48-76)	2-10	0.3-0.6
Fenol-formaldehído	1.24-1.32	4.0-7.0 (28-48)	5.0-9.0 (34-62)	1.5-2.0	0.24-4.0
Nilón 66	1.13-1.15	2.3-5.5 (16-38)	11.0-13.7 (76-94)	15-300	0.55-2.1
Poliéster (PET)	1.29-1.40	4.0-6.0 (28-41)	7.0-10.5 (48-72)	30-300	0.25-0.70
Policarbonato	1.20	3.5 (24.0)	9.5 (60)	110	16

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. Anexos*

Tabla 4.21. Propiedades mecánicas de algunos elastómeros

Tipo de material	Marcas registradas	Elongación (%)	Intervalo útil de temperaturas (ºC(ºF))
Poliisopreno natural	Natural Rubber (NR)	500-700	-55 hasta 120 (-65 hasta 250)
Estireno- Butadieno (copolímero)	GRS, Buna S (SBR)	450-500	-60 hasta 120 (-75 hasta 250)
Acrilonitrilo- butadieno copolímero)	Buna A, Nitrile (NBR)	400-600	-50 hasta 150 (-60 hasta 300)
Cloropreno	Neoprene (CR)	100-800	-50 hasta 105 (-60 hasta 225) -90 hasta 250 (-130 hasta 480)
Polisiloxano	Silicone (SIL)	600	

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 520*

4.3.1.19. Materiales Compuestos

La selección primordial de los materiales compuestos son los requisitos finales del material compuesto, sean estos físicos, mecánicos, térmicos, químicos y eléctricos.

Los requisitos de los componentes que se han de diseñar son: su tamaño, forma, peso, costo, volumen, ambiente, cargas, rendimiento, función, calidad. Otros criterios son manufacturalidad, la disponibilidad y el aspecto visual con el propósito para realizar una decisión más electiva.

Los materiales compuestos son materiales de ingeniería, entre estos se encuentran los materiales compuestos reforzados por partículas como el hormigón, materiales compuestos reforzados con fibras como

Los materiales compuestos reforzados con fibras se seleccionan mediante los parámetros de resistencia específica y módulo específico.

Los materiales compuestos reforzados con partículas se selecciona mediante el mecanismo de consolidación y reforzamiento, es decir, si son reforzados con partículas grandes ó consolidados por dispersión.

4.3.2. APLICACIÓN POR CADA CLASE DE MATERIAL

Para describir la aplicación de las clases existentes de materiales, se ofrece a continuación una gama de tablas que permiten la comprensión y facilitan el estudio de la selección de materiales, los mismos que se encuentran basados en un libro denominado “Materials Selection in Mechanical Design” realizado por el Prof. Michael Asvhy; que canalizan un breve resumen, conteniendo además un aumento de aplicaciones obtenidos de varios libros y páginas del Internet.

Tabla 4.22. Aplicaciones comunes de los metales ferrosos y sus aleaciones

Metales	Aplicaciones
Fundición de Hierro	
Fundición Gris	Partes automotrices, bloques de motores, tambores de freno, cilindros y pistones de motores; partes estructurales de máquinas de herramientas, bancada del torno.
Fundición Nodular	Partes automotrices, discos de freno, cigüeñal; bombas de lodos, bombas de agua salada, válvulas
Fundición Maleable	Caja de cambios de grandes automotores; bomba de camarones
Aceros al carbono	
Aceros de alto contenido de carbono	Herramientas de corte, resortes, cojinetes, manivelas, ejes, rieles de ferrocarril
Aceros de medio contenido de carbono	Ingeniería mecánica en General (herramientas, cojinetes, engranajes, ejes, chumaceras, pernos, chavetas, piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz)
Aceros de bajo contenido de carbono	Estructuras de acero (acero bajo en carbono) cojinetes, buques, armaduras para concreto; partes de automóviles, tableros de cuerpo de automóvil, hojas galvanizadas, láminas, tuberías, pernos, tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas.
Aceros HSLA	Se utiliza como un acero estructural, bastidores de camión, ménsulas, plumas de guía, vagones de ferrocarril
Aceros Aleados	
Aceros al manganeso (13xx)	Aceros (6-7% Mn), palas, bailejo, espátula, carretilla, tambor (mezclador), baldes de volquetas, cilindros para fusil; Aceros Hadfield (14%Mn), muelas de molinos, uñas de excavadoras, cadenas de tractores de oruga y rodillos, rieles, ruedas de ferrocarril
Aceros al níquel (2xxx)	Carburizar engranes de transmisión, tornillos de bielas, pernos y chavetas
Aceros al níquel-cromo (3xxx)	Engranes helicoidales, pernos para pistón, etc.
Aceros al molibdeno (4xxx)	Flechas ranuradas, engranes de transmisión y aplicaciones similares
Aceros al cromo-molibdeno (41xx)	Recipientes a presión, partes estructurales de aviones, ejes de automóviles y aplicaciones similares
Aceros al níquel-molibdeno (46xx, 48xx)	Engranes de transmisión, pernos de las cadenas, flechas y cojinetes.
Aceros al níquel-cromo-molibdeno (43xx, 47xx)	Se usan en la industria aeronáutica para las partes estructurales del ensamble de las alas, fuselaje y tren de aterrizaje.
Aceros al cromo (5xxx)	Resortes, tornillos para motores, pernos, ejes, etc.
Aceros al cromo-vanadio (61xx)	Pernos, cigüeñales, ejes, resortes, cojinetes, etc.
Aceros al silicio-manganeso (92xx)	Acero Naval (1-2% Si), aplicaciones estructurales que requieren alto esfuerzo de fluencia; Acero Hadfield al silicio (<0.01% C, 3% Si), núcleos y polos de la maquinaria eléctrica.

Tabla 4.23. Continuación

Metales	Aplicaciones
Aceros Inoxidables	
(Ver tablas 4.6, 4.7 y 4.8 para aplicaciones de grados según clasificación AISI)	Resortes, herramientas, bolas de cojinetes, partes automotrices (ruedas dentadas, etc) Transportes, plantas de proceso de químicos y comida, plantas nucleares, utilería domésticas (cuchillería, lavado de máquinas, estufas) implementos quirúrgicos, cañerías, recipiente de presión, contenedores de gas líquido.
Aceros para Herramientas	
Aceros endurecibles en agua (W)	Herramientas de encabezamiento en frío, martilleo, acuñación y repujado; herramientas para trabajar la madera; herramientas manuales para cortar metales, como machis, de roscar y escariadores; componentes de maquinaria resistentes al desgaste; y cuchillería.
Aceros resistentes al impacto (S)	Manufactura de herramientas de formado, en punzones, cinceles, brocas de guía, martillos; herramientas neumáticas y eh hojas para cizalla.
Aceros trabajos en frío (O)	Fabricación de troqueles y punzones para desbastar, embutir, rebordear y conformar; fabricación de componentes de maquinaria con levas, bujes, guías y calibradores).
Aceros trabajos en frío (A)	Fabricación de cuchillas de tijeras, punzones, matrices de punzonar y de recortar, matrices de conformar y matrices de acuñar.
Aceros trabajos en frío (D)	Matrices de carrera larga para punzonado, conformado, laminación de roscas y estampado profundo; troqueles para cortar laminaciones; moldes para ladrillo; calibradores; herramientas de bruñido; cilindros, y cuchillas de tijeras y tajaderas.
Aceros trabajos en caliente (H)	(H11-H19) base cromo, troqueles al calor, especialmente troqueles de extrusión, troqueles para piezas fundidas, troqueles para forja, mandriles y cizalla en caliente. (H11), para elaborar piezas estructurales en la industria de aviación. (H21-H26) base tungsteno y (H41-43), mandriles y troqueles para extrusión para latón, aleaciones de níquel y acero.
Aceros de alta velocidad (M, T)	Herramientas de corte, taladros, escariadores, fresas de espiga, terrajas, machuelos, cortadores de fresa, sierras, machos para roscar, mandriles, fresas de vástago y herramientas de carpintería.
Aceros de baja aleación para usos especiales, (L)	Fabricar partes de maquinaria como árboles, levas, portaherramientas y boquillas, cojinetes, rodillos, platos para embrague, expansores y llaves de tuercas.
Aceros para moldes (P)	Se utiliza en forma casi exclusiva en troqueles para moldeo con matriz a baja temperatura y en moldes para el vaciado de plásticos por inyección o compresión.

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed 3. Apéndice C*

Tabla 4.24. Aplicaciones más comunes de los grados ferríticos

Grados		Aplicaciones más comunes
Tipo AISI	**Número UNS**	
405	(S40500)	Tubería para intercambiadores de calor, partes resistentes al calor, equipo para refinación del petróleo, bastidor para templado de acero.
409	(S40900)	Silenciadores y convertidores catalíticos para automóviles, cajas de trailer, tanques de fertilizantes, contenedores.
429	(S42900)	Ligeramente menor contenido de Cr para mejorar la soldabilidad.
430	(S43000)	Adornos y molduras automotrices, materiales de construcción, equipo químico de proceso, cremalleras, partes para quemadores, intercambiadores de calor, adornos interiores arquitectónicos y paneles, adornos y equipo de cocinas, equipo para proceso de ácido nítrico, equipo para refinación de petróleo, tubos de protección de pirómetros, aparatos científicos, recipientes de almacenamiento, tubería
430F	(S43020)	Cerraduras, tuercas y tornillos, conectores, partes para quemadores, equipo para refinación del petróleo, flechas de bombas, partes de válvulas.
430F Se	(S43023)	Adición de Se para mejorar el maquinado.
434	(S43400)	El uso de este tipo es generalmente en el área de adornos y molduras automotrices donde es importante tener una buena resistencia a la corrosión.
436	(S43600)	Usado generalmente en el área de molduras automotrices donde es importante su mejorada resistencia a la corrosión.
439	(S43035)	Bajo contenido de C y adicionado con Ti, es ideal para soldadura, también se usa en forma de alambre para cubiertas de rines de automóvil, así como en tanques de agua caliente.
442	(S44200)	Partes para quemadores, intercambiadores de calor, válvulas y conectores, bases para tubos de rayos-X.
444	(S44400)	Bajo contenido de C, alto de Cr (18%), con 2% de Mo, y adición mínima de Ti o Nb, diseñado para usos especiales.
446	(S44600)	Partes para quemadores, intercambiadores de calor, silenciadores tubos para pirómetros, válvulas y conectores, bases para tubos de rayos-X.

Fuente: *www.cendi.org.mx*

Tabla 4.25. Aplicaciones más comunes de los grados austeníticos

Grados		Aplicaciones más comunes
Tipo AISI	**Número UNS**	
301	(S30100)	Partes de aviones, adornos arquitectónicos, cajas de ferrocarril y de trailer, cubiertas de rines, equipo de proceso para alimentos.
303	(S30300)	Conectores, cerraduras, tuercas y tornillos, boquilla, cremalleras, partes maquinadas, partes para bombas, flechas.
303Se	(S30323)	Pernos, tornillos, tuercas, accesorios para aviones, remaches.
304	(S30400)	Equipo químico de proceso, equipo de proceso y manejo de alimentos, intercambiadores de calor, equipo para hospitales.
304L	(S30403)	Reducción de C para evitar la sensitización durante la soldadura.
305	(S30500)	Equipo para industria del café, reflectores, partes con calentamiento y enfriamiento continuos.
308	(S30800)	Hornos industriales, usado primordialmente como material de aporte para soldadura.
309	(S30900)	Calentadores de aire, equipo químico de proceso, partes de
309S	(S30908)	quemadores, de turbinas de gas, intercambiadores de calor.
310	(S31000)	Calentadores de aire, equipo para tratamiento térmico de aceros,
310S	(S31008)	equipo químico de proceso.
316	(S31600)	Adornos arquitectónicos, equipo químico de proceso, equipo para el procesamiento de alimentos, farmacéutico, fotográfico, textil, etc.
316L	(S31603)	Reducción de C para evitar sensibilización durante la soldadura.
316LN	(S31651)	Reducción de C; adición de N para incrementar su resistencia mecánica.
317	(S31700)	Tornillos y alambre quirúrgico, equipo farmacéutico, equipo químico de proceso.
317L	(S31703)	Reducción de C para evitar sensibilización durante la soldadura.
321	(S32100)	Equipo químico de proceso, recipientes a presión y de almacenamiento, partes de motores jet.
347	(S34700)	Equipo para tratamientos térmicos, tanques soldados para el almacenamiento de sustancias químicas orgánicas, juntas de expansión.
348	(S34800)	Tubos soldados y sin costura para servicio a sistemas radioactivos.

Fuente: *www.cendi.org.mx*

Tabla 4.26. Aplicaciones más comunes de los grados martensíticos

Grados		Aplicaciones más comunes
Tipo AISI	**Número UNS**	
403	(S40300)	Tubos de Bourdon, partes críticas de maquinaria a alta temperatura, partes de motores jet, partes de turbinas de gas o vapor.
410	(S41000)	Tuercas y tornillos, bushings, cubiertos, herramientas de cocina, partes de horno a bajas temperaturas, equipo para refinación del petróleo, partes para bombas, válvulas, partes para turbinas a gas o vapor, vajillas, pernos, partes micrométricas.
414	(S41400)	Equipo para minas, tijeras, láminas calibradoras, flechas, remaches, brocas, asientos para válvulas.
416	(S41600)	Conectores, cerraduras, tuercas y tornillos, cabezas de palos de golf, partes de bombas, flechas, partes para válvulas.
416Se	(S41623)	Adición de Se para mejorar el maquinado.
420	(S42000)	Bushings, cubiertos, instrumentos dentales y quirúrgicos, anzuelos, engranes, hojas de cuchillos, moldes, partes de bombas, herramientas, partes para válvulas, llaves.
420F	(S42020)	Incremento de P y S para mejorar maquinabilidad.
422	(S42200)	Resistencia mecánica y tenacidad hasta 650°C mediante la adición de Mo, V, y W.
431	(S43100)	Conectores, cerraduras, partes para transportadores, equipo marino, flechas de propelas, flechas de bombas, resortes, partes para válvulas.
440ª	(S44002)	Cuchillería.
440B	(S44003)	Cuchillería, partes para válvulas, partes resistentes al secado.
440C	(S44004)	Inyectores, partes para válvulas, equipo quirúrgico, partes resistentes al desgaste, cubiertos.

Fuente: *www.cendi.org.mx*

Tabla 4.27. Aplicaciones comunes de los metales no ferrosos y sus aleaciones

Metales	Aplicaciones
Aluminio y sus aleaciones	
Aleaciones Fundidas	Partes de automóviles (bloques de cilindro), aplicaciones domésticas (hierro)
Aleaciones no tratadas térmicamente	Conductores eléctricos, intercambiadores de calor, lámina metálica, tubos, cacerolas, recipiente de bebidas, embarcaciones de ligero peso, paneles arquitectónicos.
Aleaciones tratadas térmicamente	Ingeniería aeroespacial, paneles y cuerpos automovilísticos, embarcaciones de ligero peso.
Cobre y sus aleaciones	Conductores eléctricos y alambres, tableros de circuitos electrónicos, intercambiadores de calor, calderas, acuñación, esculturas.
Plomo y sus aleaciones	Tejados y paredes revestidas, soldaduras, protecciones de rayos X, cargador de electrodos
Magnesio y sus aleaciones	Fundiciones de automóviles, v fundiciones de ligero peso para uso generales en el transporte, contenedores para combustibles nucleares, principal elemento de aleación para adicionar a los aluminios aleados
Níquel y sus aleaciones	Turbinas de gas y partes de aviones, termocuplas, acuñación, principal elemento de aleación para adicionar a los aceros inoxidables
Titanio y sus aleaciones	Aletas de ejes de turbina, aplicaciones generales de estructura aeroespacial, implantes biomédicos
Zinc y sus aleaciones	Matrices (automotriz, aplicaciones domésticas, juguetes); revestimiento en aceros galvanizados.

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed 3. Apéndice C*

Tabla 4.28. Aplicaciones comunes de los polímeros

Polímeros		Abreviaturas	Aplicaciones
Termoestables	Epoxis	EP	Adhesivos, materiales compuestos de fibras, encapsulación electrónica
	Fenólico	PHEN	Enchufe eléctrico, tomacorrientes, adhesivos
	Poliéster	PEST	Muebles, barcos, utilería en deportes
Termoplásticos	Acrilonitrilo butadieno estireno	ABS	Dispositivos de Comunicación, interior automotriz, equipajes, juguetes, barcos.
	Celulosa polímeros	A	Herramientas y mangos de cuchillos, arreglos decorativos, bolígrafos
	Ionómeros	I	Embalaje, pelotas de golf, envase en lámina al vacío, botellas
	Poliamida (nylons)	PA	Rueda dentada, cojinete, plomería, embalaje, botellas, tejidos, textiles, cuerda.
	Policarbonato	PC	Anteojos de seguridad, blindajes, cascos, adecuaciones de iluminación, componentes médicos
	PEEK	PEEK	Conectores eléctricos, partes de carros de carrera, compuestos de fibra
	Polietileno	PE	Embalaje, bolsas, juguetería, conexiones artificiales
	Polietilentereftalato	PET	Botellas para inyectar corriente de aire, películas, cintas de audio / video, velas
	Metacrilato de polimetilo	PMMA	Ventanas de aviones, lentes, reflectores, discos compactos.
	Polioximetileno (acetal)	POM	Cremallera, partes de objetos domésticos
	Polipropileno	PP	Cables, tubería, reactores, aislamiento eléctrico
	Poliestireno	PS	Juguetería, embalaje, cuchillería, casetes de audio y casetes CDs
	Poliuretano termoplástico	Tp-PU	Material almohadillado, asientos, planta de zapatos, mangueras, guarda choques de carros, aislamientos
	Cloruro de polivinilo	PVC	Tuberías, canales, marco de ventana, embalaje
	Politetrafluoretileno	PTFE	esquís, cojinetes, aislamientos eléctricos, cintas
Elastómeros	Caucho Butílico	Caucho Butílico	Llantas, instalaciones anti- vibratorias, aislamiento eléctrico, tuberías
	Etileno acetato de vinilo	EVA	Bolsas, películas, embalaje, bombas, aislamientos, zapatos deportivos
	Isopreno	IR	Neumáticos, cámara, aislamientos, tuberías, zapatos
	Caucho natural	NR	Bombas, Llantas, aislamiento eléctrico, tuberías
	Policloropreno (Neopreno)	CR	Trajes, junta tórico y sellos
	Poliuretano	El - PU	Embalaje, mangueras, adhesivos, fábricas de revestimiento
	Silicona elastómeros	Siliconas	Aislamiento eléctrico, encapsulación electrónica, implantes médicos
Polímeros Espumosos	Polímeros flexibles espumosos	Espuma Flex	Empaquetado, flotabilidad , esponjas, amortiguación, almohadas
	Polímeros rígidos espumosos	Espuma Rígida	Aislamiento térmico, empaquetado, panel tipo sándwich, flotabilidad

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed 3. Apéndice C*

Tabla 4.29. Aplicaciones comunes de los materiales cerámicos, compuestos y naturales

Material	Aplicaciones
Compuestos	
Metal	
Aluminio / carburo de silicio	Partes automotrices
Polímero	
CFRP	Partes de estructuras livianas (aéreas, marcos de bicicletas, casco de barcos y remos, resortes)
GFRP	Casco de botes, partes automotrices, plantas químicas
Cerámicos	
Vidrios	
Vidrio de Borosilicato	Utensilios del horno, utensilios del laboratorio, faros inclinables
Vidrio cerámico	Utensilios de cocina, láser, espejos de telescopios
Vidrio de sílice	Ventanas para alta temperatura, crisoles, aplicaciones para alta temperatura.
Vidrio Cal-Soda	Ventanas, botellas, tuberías, focos, vajillas vidriadas
Poroso	
Ladrillo	Construcciones
Concreto	Construcciones generales de ingeniería civil
Piedra (roca)	Construcciones, esculturas, arquitectura
Técnicos	
Alúmina	Herramienta de corte, bujías de encendido, soporte de microcircuitos
Nitruro de aluminio	Substratos de microcircuitos, dispador térmico
Carburo de Boro	Armaduras ligeras, boquillas, partes de herramientas de precisión
Silicio	Microcircuitos, semiconductores, instrumentos de precisión
Carburo de silicio	Equipos para temperatura alta, muela abrasiva para pulido, soporte, armadura.
Nitruro de silicio	Soportes, herramientas de corte, matriz, partes de máquinas
Carburo de tungsteno	Herramientas de corte, broca, abrasivos
Natural	
Bambú	Construcciones, andamiaje, papel, cuerda, barquilla, muebles
Corcho (alcornoque)	Corchos y tapones, sellos, flotadores, empacadores, suelos
Cuero	Zapatos, ropa, chaquetas, cinturón de manejo
Madera	Construcciones, pisos, puertas, muebles, empacadores.

Fuente: *ASHBY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Ed 3. Apéndice C*

4.4. EJERCICIOS PRÁCTICOS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES UTILIZANDO EL PROGRAMA CES

El diseño un bien útil se encuentra basado como último punto la selección adecuada del material, por lo cuál se dará a conocer dos ejemplos prácticos, por los cuales, podremos elegir un material considerando lo que implementó el Prof. Michael Ashby y el programa desarrollado por la Universidad de Cambridge Inglaterra, estos son: selección de materiales para rompeolas de autotanques que transportan combustibles líquidos y la selección de materiales para estructura primaria de un soporte de una turbina de un avión.

4.4.1. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA ROMPEOLAS DE AUTOTANQUES QUE TRANSPORTAN COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

Este caso de estudio se va a describir en base al fundamento es reducir el peso del material en los autotanques que transportan líquidos, especialmente corrosivos como el GLP, ha existido muchos problemas debido a la corrosión del material y se busca materiales de las mismas propiedades mecánicas sin que existe en ella fallos reduciendo el peso del material.

Fig. 4.27. Autotanque de transportación de GLP AGIP Ecuador

Fuente: *Fotografía*

4.4.1.1. Requerimientos e Índice de Desempeño

En la derivación del índice de desempeño se supone que el rompeolas funciona como una placa con carga uniformemente distribuida sobre su superficie, el material de referencia es el acero SAE 1010, de donde se establece la siguiente información:

Tabla 4.30. Requerimientos para rompeolas

Función	Placa soportando cargas transversales
Objetivo	Minimizar la masa
Restricciones	Geometría definida, espesor libre, soportar cargas transversales sin falla, suficiente resistencia mecánica a tensión

Para obtener el índice de desempeño hemos recurrido a tablas ya establecidas por el profesor Asvhy, en donde obtiene tanto de la masa del material en función de la densidad y el esfuerzo que se obtiene de la siguiente fórmula $\sigma = CW / e^2$, en donde *C* es la constante dependiendo de la geometría y modo de fijación de la placa, *W* la carga, y *e* el espesor de la placa, en donde se obtiene en índice M

$$M = \frac{\sigma^{1/2}}{\rho}$$

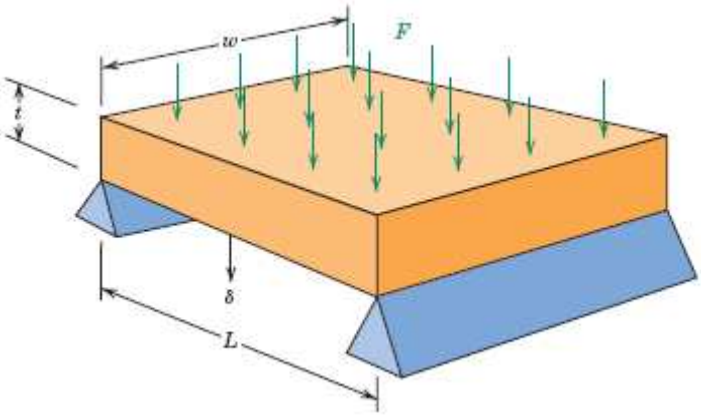


Fig. 4.28. Esquema de cargas en rompeolas

Fuente: *CALLISTER William. Introd. a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. p. 877*

4.4.1.2. Desarrollo y Análisis de Resultados

En la figura 4.29 se muestra el mapa de esfuerzo vs densidad, en la que puede apreciarse que los distintos colores indican diferentes clases de materiales, como por ejemplo, el azul se usa para polímeros; el magenta, para cerámicos; el verde lima, para espumas (foams) de polímeros; el azul aqua, para espumas metálicas; el azul marino, para espumas cerámicas; el verde obscuro, para materiales naturales; el café, para materiales compuestos; el rojo, para aleaciones no ferrosas, de metales preciosos y de refractarios; el verde azulado, para aleaciones ferrosas.

Continuando con el proceso de selección, como ya se definió antes, se obtiene una pendiente de 2 para la línea guía, y aplicando como referencia el material usado en este tipo de aplicación en el Acero SAE1010, de bajo porcentaje de carbono, estos resultados se muestran en la figura 4.30, en donde se observa todos los materiales posibles encima de la línea guía y los materiales que no son aptos con color gris.

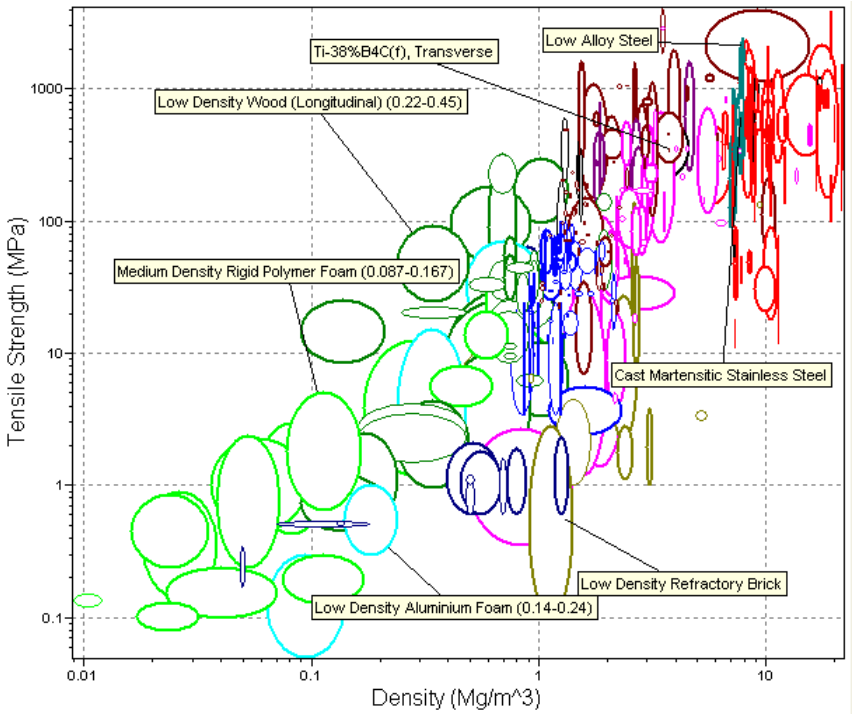


Fig. 4.29. Mapa de propiedad de esfuerzo de fluencia-densidad, Rompeolas

Fuente: *Granta Design. CES*

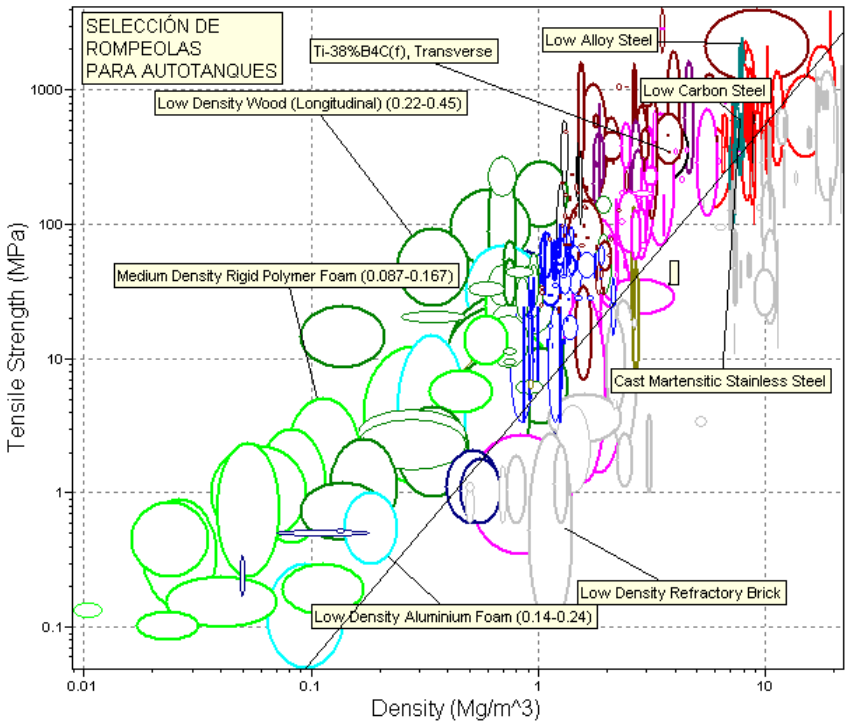


Fig. 4.30. Ilustración línea guía ubicado en Acero SAE1010, Rompeolas

Fuente: *Granta Design. CES*

Bajo estas consideraciones este programa que se encuentra como en formato prueba ha elegido 316 posibilidades de 377, por lo que existen otras consideraciones que se va a tomar en cuenta como el costo y el medio ambiente al que trabaja.

Por el costo se a tomado el índice de desempeño de economía por lo que realizando los cálculos respectivos se obtiene:

$$M = \frac{\sigma^{1/2}}{\rho Cm}$$

En donde *Cm* es el costo del material por unidad de masa, con las restricciones de costo se obtiene 101 materiales de 377, estos materiales están encima de la línea guía, tal como lo muestra la figura 4.31.

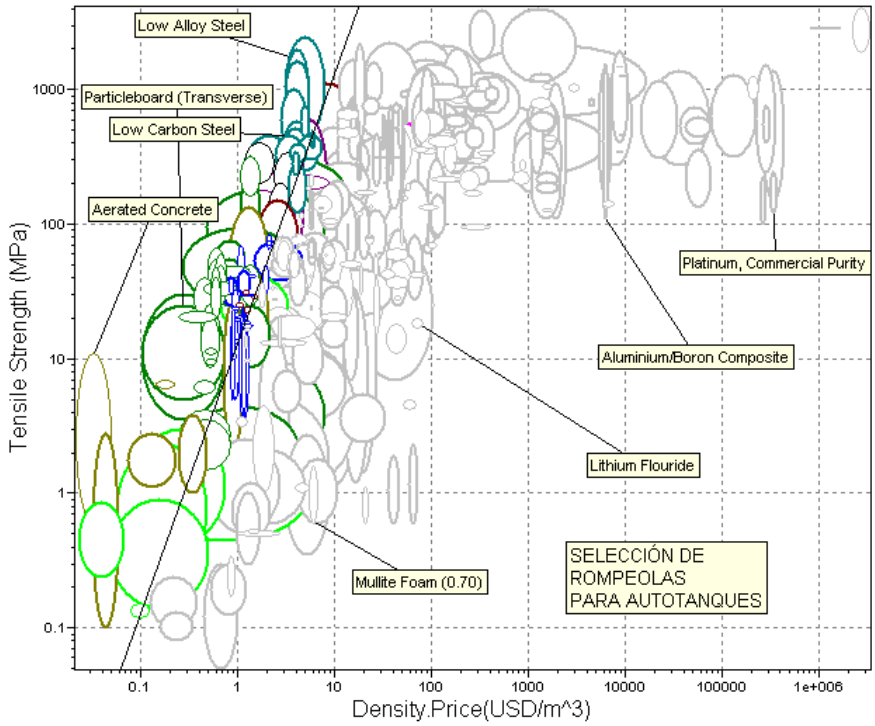


Fig. 4.31. Mapa esfuerzo de fluencia-costo por unidad de volumen, Rompeolas

Fuente: *Granta Design. CES*

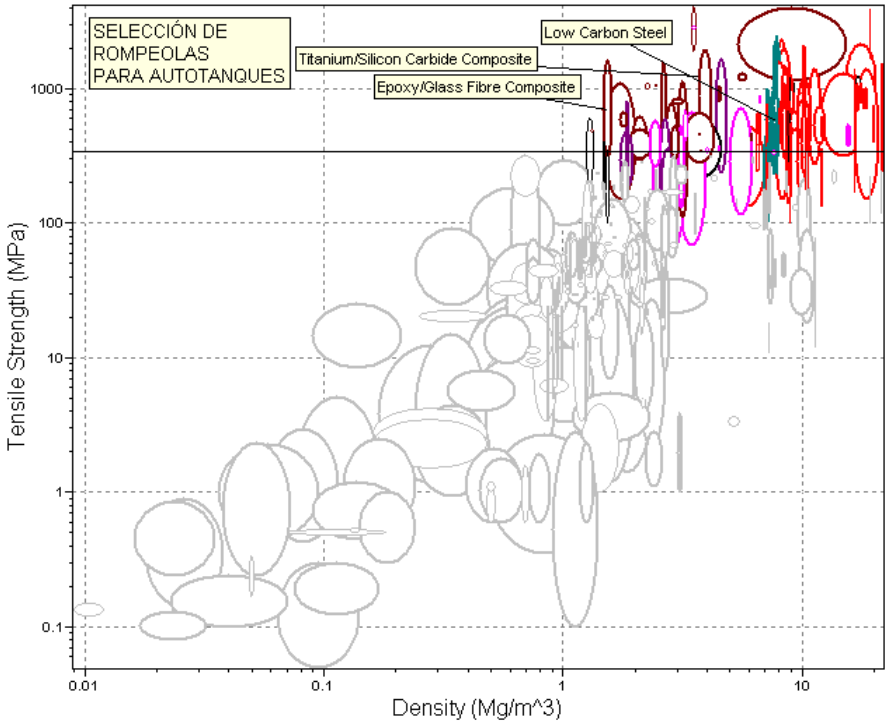
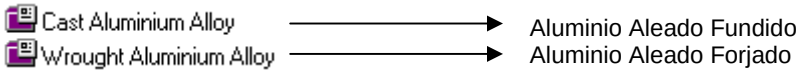


Fig. 4.32. Mapa esfuerzo de fluencia-densidad, Rompeolas

Fuente: *Granta Design. CES*

En consideraciones de deterioro del material promedio y la resistencia del acero SAE1010, aumentando mapas de propiedades y eligiendo según lo estipulado anteriormente obtuvimos de todos los parámetros 2 materiales de 377 alternativos ideales para minimizar el peso y costo, conservando la resistencia, esto según el diseño preeliminar que se realice.

Los materiales ideales con estas restricciones son:



En la tabla 4.31 se encuentra las propiedades de cada uno de los materiales resultantes con el Aceros SAE1010 que fue el de referencia, con el índice de desempeño y el costo.[66]

Tabla 4.31. Propiedades de los materiales resultantes, Rompeolas

Material	Resistencia a la Tensión [MPa]	Densidad [Kg/m^3]	Índice de Desempeño [(MN)$^{1/2}$.m/kg]	Costo [USD/Kg]	Costo Relativo
Acero SAE1010	580	7900	3.048 x 10^{-3}	0.71	1
Aleaciones de Aluminio Fundido	360	2950	6.432 x 10^{-3}	1.73	2.43
Aleaciones de Aluminio Forjado	595	2840	8.588 x 10^{-3}	3.15	4.44

Las conclusiones que se pueden obtener de la tabla es que los materiales obtenidos pueden sustituir tranquilamente al Aceros SAE1010, disminuyendo notablemente el peso del material; las aleaciones de aluminio tanto fundidas como forjadas tienen excelente resistencia a la corrosión, por lo que se podría considerar en caso de transportar líquidos altamente corrosivos, en el caso de GLP es en un término medio, así que, se podría usar si se consideran otros factores como ciclo de vida, factores ambientales, etc.

[66] Las propiedades fueron tomadas de la base de datos del CES

4.4.2. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA ESTRUCTURA PRIMARIA DE UN SOPORTE DE UNA TURBINA DE UN AVIÓN

Este caso de estudio, en una estructura de un avión, en este caso como soporte de una turbina de avión, en el mismo se necesita tanto alta resistencia a la tracción como también muy baja densidad, es por eso, que vamos a describir algunas consideraciones obtenidas vía Internet del avión comercial Boeing 787[67]

Fig. 4.33. Boeing 787

Fuente: *http://aguilasdeacero.files.wordpress.com/2008/06/boeing-787-dreamliner.jpg*

4.4.2.1. Requerimientos e Índice de Desempeño

Algunos datos obtenidos del Internet para la turbina de este tipo de avión son los siguientes:

Tabla 4.32. Datos obtenidos de la turbina del avión Boeing 787

Datos Obtenidos	
Diámetro	2 metros
Masa en seco	4 toneladas
Máximo empuje en seco	250 kN
Máxima Temperatura de Servicio	1200 ºC
Tenacidad a la fractura	15 MPa.m$^{1/2}$

Fuente: *http://aguilasdeacero.files.wordpress.com*

Tomando primeramente algunas consideraciones como la máxima temperatura de servicio estimada de la pieza de 550ºK, la mínima tenacidad a la fractura para mayor seguridad se escogió 20MPa.m$^{1/2}$, y otras consideraciones como: la conductividad térmica como la turbina trabaja a altas temperaturas y es necesario que no se transmitan estas al alta, por cuanto, contienen combustible se escogió

[67] http://aguilasdeacero.files.wordpress.com

un valor máximo de 10 W/m.K, la resistencia a la flamabilidad que debe ser muy buena, la resistencia a la corrosión por agua dulce que también debe ser muy buena y el precio; CES tiene grandes opciones no solo para establecer mapas de propiedades sino que también ubicar algunas propiedades en tablas que son los mínimos o máximos requerimientos de los componentes.

Y una característica que estudiaremos por consiguiente es el índice es desempeño para el límite elástico ó esfuerzo de fluencia con la densidad para minimizar la masa, en este caso estableceremos la función, objetivo y restricciones en la siguiente tabla

Tabla 4.33. Requerimientos para estructura-soporte avión

Función	Estructura soportando cargas de flexión
Objetivo	Minimiza la masa
Restricciones	Carga, longitud, altura específica; ancho variable

Para obtener el índice de desempeño hemos recurrido a tablas ya establecidas por el profesor Asvhy, en la tabla A.5 de los anexos observamos para estas restricciones que el índice de desempeño para el límite elástico vs densidad es la siguiente: $M = \sigma_f / \rho$

4.4.2.2. Desarrollo y Análisis de Resultados

Tomando en consideración las características o propiedades antes mencionadas y el índice de desempeño, en este caso con una pendiente de 1 ubicando la línea guía en un límite de elasticidad de aproximadamente 1 MPa por la carga máxima de 250 kN con un factor de seguridad; en la figura 4.34 observamos los materiales que mantienen un buen esfuerzo de fluencia y minimizan su peso, estos obtuvieron 56 de 377 materiales de la base de datos y en la figura 4.35 observamos algunas propiedades establecidas.

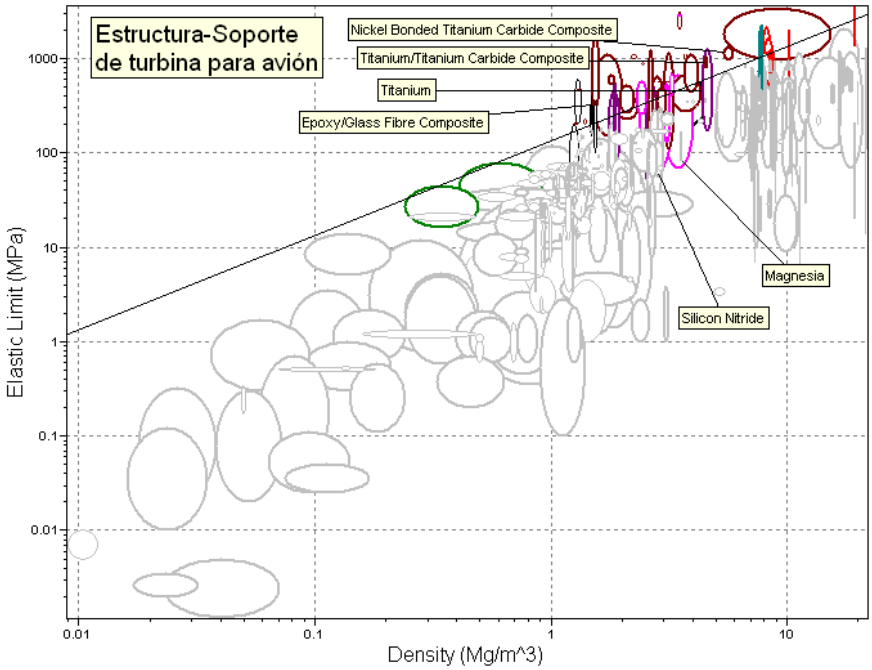


Fig. 4.34. Mapa Límite de elasticidad-Densidad, Soporte

Fuente: *Granta Design. CES*

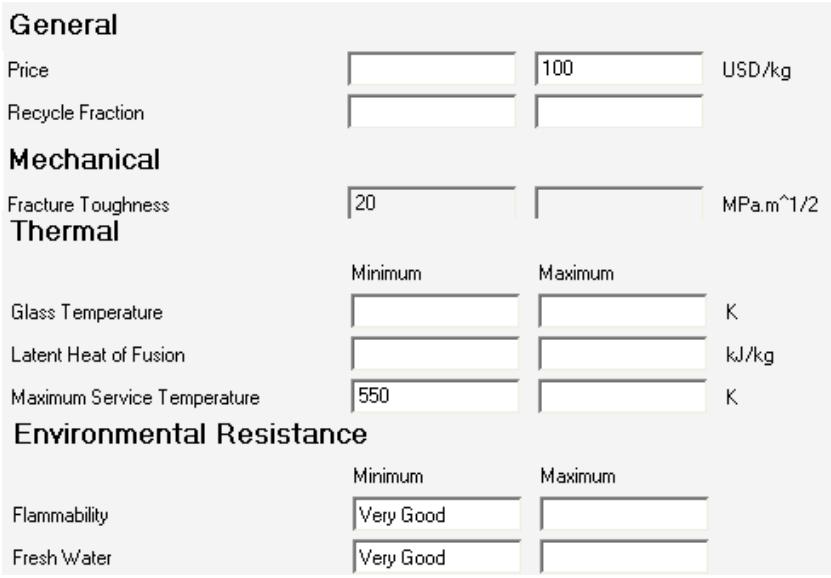


Fig. 4.35. Cuadro de ingreso de propiedades CES, soporte

Fuente: *Granta Design. CES*

Los materiales ideales con estas características son:

Nickel Chromium Alloy	Aleación de Níquel-Cromo
Nickel Cobalt Alloy	Aleación de Níquel-Cobalto
Titanium	Titanio
Titanium/Titanium Carbide Composite	Titanio Compuesto por Carburos

En la tabla 4.34 se encuentra las propiedades de cada uno de los materiales resultantes, con el índice de desempeño, el costo y el costo relativo.[68]

Tabla 4.34. Propiedades de los materiales resultantes, Soporte

Material	Límite de Elasticidad [MPa]	Densidad [Kg/m^3]	Índice de Desempeño [MN.m/kg]	Costo [USD/Kg]	Costo Relativo
Aleación de Níquel-Cromo	2100	8650	0.243	23.64	1
Aleación de Níquel-Cobalto	1180	8450	0.139	23.64	1
Titanio	1245	4840	0.257	63.04	2.67
Titanio compuesto por carburos	1040	4584	0.227	110.33	4.67

En los materiales resultantes observamos dos familias grandes como son las aleaciones de níquel y las aleaciones de titanio, también vemos que la densidad del titanio es relativamente la mitad que las aleaciones de níquel, para reducir relativamente el peso manteniendo el alto esfuerzo de fluencia es el titanio que tiene composición con algunos elementos aleantes[69].

Los fabricantes del soporte de la turbina del avión Boeing 787 utilizan las aleaciones de titanio, que en este caso coincidió con el material elegido, por lo cual se observa que el programa muy útil.

[68] Las propiedades fueron tomadas de la base de datos del CES
[69] La base de datos del CES tiene 377 materiales, pero se puede obtener las aleaciones específicas de estas familias si se tuviera una base de datos mayor

CAPÍTULO V

5. INFORMES TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE MATERIALES

5.1. ENSAYOS MECÁNICOS Y PRUEBAS METALOGRÁFICOS PARA EL CONTROL DE MATERIALES

5.1.1. ANÁLISIS METALOGRÁFICO

5.1.1.1. Objetivos

- Preparar y evaluar probetas metalográficas de materiales ferrosos y no ferrosos
- Apreciar cada una de las características estructurales del metal o aleación.

5.1.1.2. Desarrollo Teórico de la Prueba

- ***Extracción de la muestra.-*** La muestra deberá tener un tamaño conveniente, tal que, se pueda manipular fácilmente para que no afecte a la superficie que va hacer pulida y atacada químicamente. La muestra debe mantenerse fría durante la operación de cortado.

- ***Desbaste grueso.-*** Este sirve para remover las rebabas y todas las rayaduras debidas al corte, esto se lora presionando uniformemente la probeta sobre una desbastadora de disco provista de lija 60, 80, 100 y 120 granos/pulg. dependiendo de la necesidad. Durante esta operación debe mantenerse la probeta fría mediante el flujo de agua.

Fig. 5.1. Desbastadora de disco, marca BUEHLER

Fuente: *LABORATORIO DE METALOGRAFIA, Ensayo Realizado, fotografía*

- ***Desbaste fino.***- El objetivo de esta operación es remover la zona deformada causada por los dos procesos anteriores, esto se logra con un equipo para desbastado fino que contiene lijas de números: 240, 320, 400 y 600 granos/pulg. La muestra se desliza sobre las lijas en dirección opuesta al operador de manera que se formen rayas en una sola dirección, para eliminar éstas se debe girar la probeta 90º cada vez que vaya alternando el pulido por cada número de lija progresivamente.

Fig. 5.2. Pulidora de Lija, marca BUEHLER

Fuente: *LABORATORIO DE METALOGRAFIA, Ensayo Realizado, fotografía*

- ***Pulido.-*** *Esta operación consiste en el desbaste leve, en ésta se emplea una pulidora de disco con un paño (de billar) utilizando como abrasivo alúmina en suspensión con agua.*

Fig. 5.3. Pulidora de paño, marca BUEHLER

Fuente: *LABORATORIO DE METALOGRAFIA, Ensayo Realizado, fotografía*

- ***Ataque Químico.-*** El objetivo del ataque químico es hacer visible al microscopio metalográfico las características estructurales del metal o aleación, mediante la aplicación de un reactivo apropiado sobre la superficie pulida de la probeta, por lo cual, la misma que se encuentra bajo una acción química selectiva reaccionando exclusivamente con uno de los elementos químicos presentes en el material. La selección del reactivo se realiza en base al tipo o clase de metal y por la estructura específica que se desea observar.

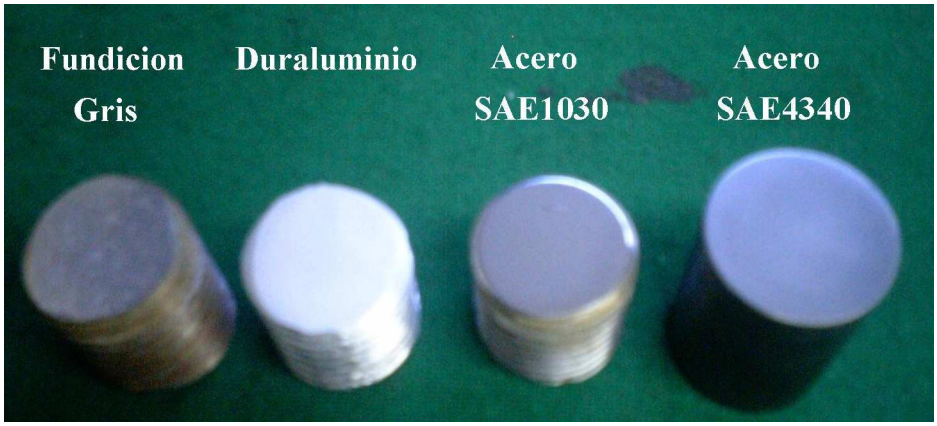


Fig. 5.4. Probetas atacadas químicamente

Fuente: *LABORATORIO DE METALOGRAFIA, Ensayo Realizado, fotografía*

- ***Equipo de observación.-*** El microscopio metalográfico está constituido por varios lentes de varios aumentos, los mas usados a 100X y a 400X, una mesa donde se ubica la muestra con un nonio, y otro para regular la visibilidad de la observación y una pantalla que muestra de mejor manera la misma.

Fig. 5.5. Banco Metalográfico, marca XENON 450

Fuente: *LABORATORIO DE METALOGRAFIA, Ensayo Realizado, fotografía*

5.1.1.3. Materiales y Equipos

5.1.1.3.1. Materiales

- Probetas de diferente tipo de material: Acero SAE1030, Acero SAE4340, Duraluminio y Fundición Gris, de acuerdo con la norma ASTM E 3.
- Reactivos químicos
- Abrasivos
- Alcohol Industrial

5.1.1.3.2. Equipos y herramientas

- Equipo de desbaste grueso, fino y de pulido
- Secador
- Pinzas
- Microscopio metalográfico
- Cámara Fotográfica

5.1.1.4. Procedimiento de la prueba[70]

- Extraer una muestra del material mediante corte.
- Realizar el desbaste asentando la muestra uniformemente hasta conseguir un solo plano en la probeta.
- Pasar la muestra sobre las lijas de 240, 320, 400 y 600 granos/pulg. en un solo sentido para formar rayas en una sola dirección. Al pasar a la siguiente lija, girar 90º la probeta para eliminar las rayaduras anteriores.
- Verter el abrasivo (alúmina) sobre el paño de billar del plato giratorio y girar en sentido contrario al giro del disco sucesivamente.
- Preparar el reactivo según el material y el tipo de estructura que se desea
- Atacar químicamente, puede ser por inmersión de la probeta en el reactivo ó mediante algodón empapado con reactivo, el cual se frota sobre la superficie pulida con la ayuda de una pinza.
- Observar en el microscopio metalográfico y analizar los resultados

5.1.1.5. Resultados del Análisis Metalográfico

Tabla 5.1. Reactivos usados en la prueba

No	Tipo de Material	Reactivo Utilizado	Composición del Reactivo	
1	Duraluminio	Keller	- HF - HCl - HNO_3 - H_2O	10 cc 15 cc 25 cc 50 cc
2	Fundición Gris	Ácido Nítrico (Nital)	- HNO_3 - Alcohol Industrial al 99%	1-5 cc 110 cc
3	Acero SAE1030	Ácido Nítrico (Nital)		
4	Acero SAE4340	Ácido Nítrico (Nital)		

[70] Se encuentra de acuerdo a la norma ASTM E 3

Tabla 5.2. Análisis de Resultados de la prueba metalográfica

Tipo de Material	Observaciones
Duraluminio	Corresponde a una solución sólida homogénea de Al-Cu sin tratamiento térmico tal como se observa en la Fig. 4.1. a 400X
Fundición Gris	Pertenece a una fundición irregular, de la misma sobresale 3 zonas. - Fundición de hierro gris de matriz perlítica - Fundición de hierro gris de matriz ferrítica-perlítico, el carbono (grafito) esta de forma interdendrítco de tipo E y tamaño 6, de acuerdo a la norma ASTM A 247, Fig. 4.1. - Existen zonas muy esporádicas de formación de nódulos
Acero SAE1030	Corresponde a un Acero Ferrítico –Perlítico de tamaño de grano No 8, laminado en caliente con un contenido aproximado de carbono de 0.3%
Acero SAE4340	Acero de carbono medio, aleado al Cr-Ni; la muestra está tratado térmicamente. Fig. 4.1. 400X se observa la presencia de la constituyente bainita en toda su estructura.

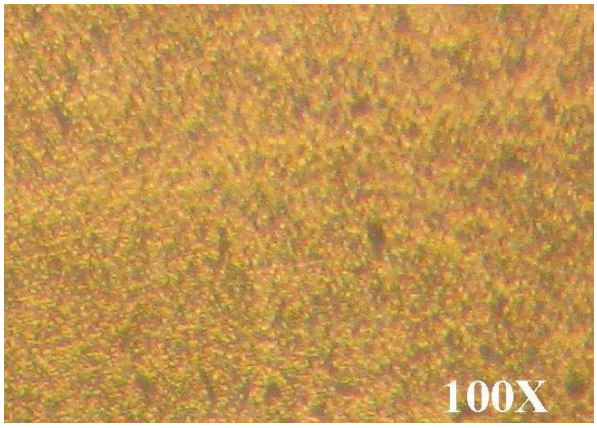


Fig. 5.6. Duraluminio

Obs: *Solución sólida homogénea sin tratamiento térmico de Al-Cu*

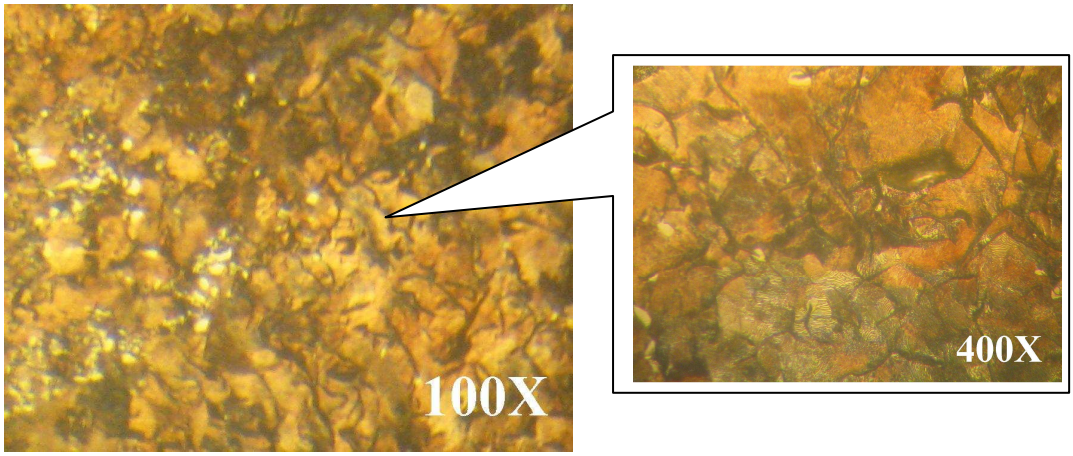


Fig. 5.7. Fundición Gris

Obs: *100X– Se observan flóculos de grafito en forma interdendrítica de tipo E y tamaño 6*
400X-La matriz de la muestra es ferrítica-perlítica.

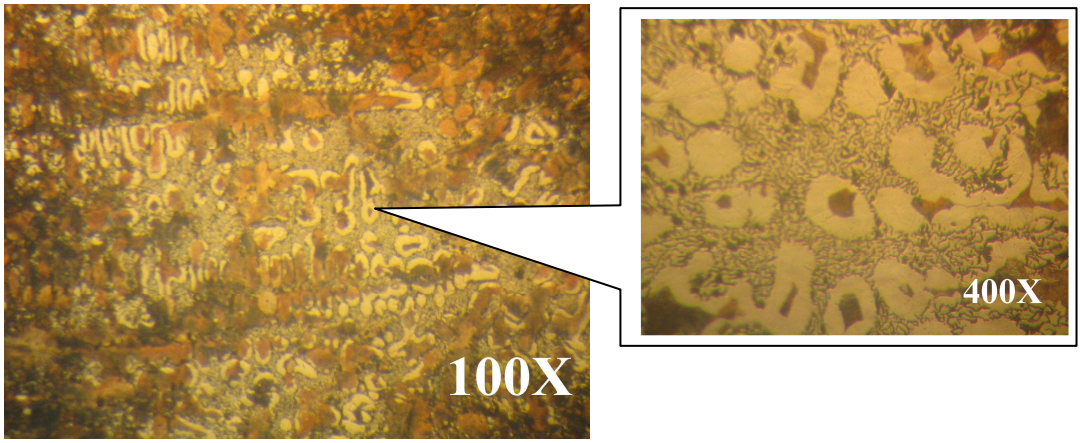


Fig. 5.7. Continuación

Obs: *Se observa la formación de nódulos muy esporádicamente*

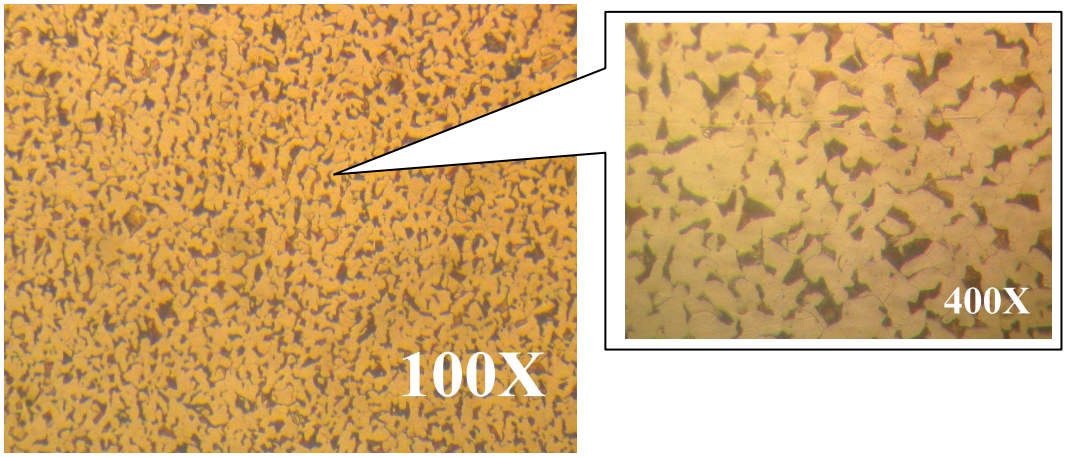


Fig. 5.8. Acero SAE1030

Obs: *100X– Se observa un tamaño de grano No 8, con un porcentaje aproximado de carbono de 0.3%*
400X-Corresponde a un acero ferrítico-perlítico

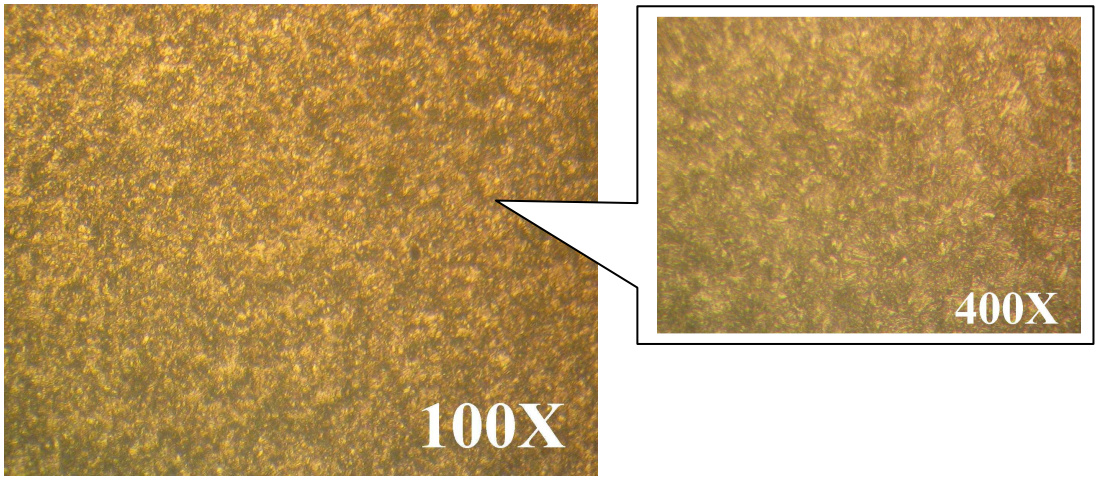


Fig. 5.9. Acero SAE4340

Obs: *100X– Pertenece a un acero de carbono medio aleado al Cr-Ni; 400X-Se Observa la constituyente bainita en toda su estructura*

5.1.2. ENSAYO DE DUREZA

5.1.2.1. Objetivos

- Evaluar cada una de las durezas de los materiales con el durómetro en escala HRB y HRC

5.1.2.2. Desarrollo Teórico de la Prueba

- ***Generalidades.-*** Existen distintos tipos de ensayos de dureza, tales como: Brinell, Rockwell, Vickers y Knoop, pero elegimos el ensayo de dureza Rockwell por lo que constituye el método más usado para medir la dureza debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales. Se pueden utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetraciones y cargas, lo cual permite ensayar virtualmente cualquier metal o aleación desde el más duro al más blando. Los penetradores son bolas esféricas de acero endurecido que tienen diámetros de $(1.588, 3.175, 6.350, 6.350\ y\ 12.70mm)$ y un penetrador cónico de diamante, el cual se utiliza para los materiales más duros.

Tabla 5.3. Escala de dureza Rockwell

Símbolo de la escala	Penetrador	Carga mayor (8kg)
A	Diamante	60
B	Bola de 1/16 pulg.	100
C	Diamante	150
D	Diamante	100
E	Bola de 1/8 pulg.	100
F	Bola de 1/16 pulg.	60
G	Bola de 1/16 pulg.	150
H	Bola de 1/8 pulg.	60
K	Bola de 1/8 pulg.	150

Fuente: *CALLISTER William. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales. p. 138*

- ***Probeta.-*** Es un END (Ensayo no Destructivo), por lo que no es tan necesario que se prepare una muestra. Las probetas deben tener la superficie limpia con un grado de rugosidad mínimo.

- ***Equipo para ensayo*.-** El equipo tiene como nombre Durómetro, por lo cual existen equipos modernos para la medida de la dureza Rockwell que están automatizados y son de muy fácil utilización; la dureza es medida directamente, y cada medida requiere únicamente unos pocos segundos.

Fig. 5.10. Durómetro Rockwell

Fuente: *LABORATORIO DE METALOGRAFIA, Ensayo Realizado, fotografía*

- **Recomendaciones.-** El espesor de la probeta debe ser por lo menos alrededor de 10 veces la profundidad de la huella, también debe haber un espacio de tres diámetros de huella entre el centro de una huella y el borde de la probeta, o bien con el centro de otro indentación. Además se debe tener siete huellas mínimo sobre la misma superficie con la indicación anterior para eliminar la lectura alta y baja y dar promedio de las cinco lecturas restantes.

5.1.2.3. Materiales y Equipos

5.1.2.3.1. Materiales

- Probetas de diferente tipo de material: Acero SAE1030, Acero SAE4340, Duraluminio y Fundición Gris, de acuerdo con la norma E 18

5.1.2.3.2. Equipos y herramientas

- Durómetro en escala HRB y HRC

5.1.2.4. Procedimiento de la Prueba[71]

- Ubicar escala a la cual se quiere medir, según el tipo de material.
- Maniobrar lentamente el volante para poner en contacto la pieza con el penetrador
- Encerar el micrómetro.
- Seguir levantando el plato portaobjetos hasta que quede una referencia grabada sobre el vástago del micrómetro, aproximadamente 3 vueltas seguidas[72]. Con esto se logrará aplicar la carga inicial de 10kg, produciéndose así una huella.
- Aplicar la carga adicional según sea la escala, de esta forma la huella alcanzará su máxima profundidad.
- Dejar que actúe la carga durante 3 a 6 segundos.
- Eliminar la carga adicional.
- Observar lectura en el micrómetro, según cual haya sido la escala.
- Eliminar la lectura más alta y más baja, y realizar el promedio.

5.1.2.5. Resultados del Ensayo de Dureza Rockwell

Tabla 5.4. Análisis de Resultados del Ensayo de Dureza

Tipo de Material	Acero SAE1030		Acero SAE4340		Fundición Gris		Duraluminio	
Escala	HRB		HRC		HRB		HRB	
Dureza	84	√	35	√	82	×	54	×
	86	√	37	×	87	√	55	√
	81	×	34	×	86	√	70	×
	89	√	37	√	88	√	66	√
	85	√	36	√	86	√	66	√
	90	×	36	√	89	×	67	√
	89	√	36	√	85	√	63	√
Promedio	86.6		36		86.4		63.4	

[71] Se encuentra de acuerdo a la Norma ASTM E 18
[72] Si se supera la tres primeras divisiones se comenzará de nuevo el proceso

Fig. 5.11. Muestras Ensayadas

Fuente: *LABORATORIO DE METALOGRAFIA, Ensayo Realizado, fotografía*

5.1.3. ENSAYO DE IMPACTO CHARPY

5.1.3.1. Objetivos

- Analizar los resultados de la energía absorbida ó tenacidad, por el impacto con el ensayo de impacto Charpy, tipo A, muesca en V.

5.1.3.2. Desarrollo Teórico de la Prueba

- ***Generalidades.-*** Existen dos ensayos normalizados, los ensayos de Charpy e Izod, fueron diseñados y todavía son utilizados para medir la energía de impacto, algunas veces también llamada tenacidad a la entalla. La técnica de Charpy con entalla en forma de V es la más común.

  La carga es aplicada en forma de un golpe con un martillo en forma de péndulo que se deja caer desde una posición fija preestablecida a una altura *h*. La probeta se coloca en la base

  Al dejar caer el péndulo, el borde de una cuchilla montada en el péndulo golpea y fractura la probeta a lo largo de la entalla, la cual actúa como un punto de concentración de tensiones para esta velocidad de impacto. El péndulo continúa su oscilación, llegando hasta una altura máxima *h'*, la cual es menor que *h*. La pérdida de energía, calculada a partir de la diferencia entre *h* y *h'*, es una medida de la energía absorbida en el impacto.

- ***Probeta.-*** Este es un ensayo destructivo por lo que se debe extraer la muestra del lote y mecanizar la pieza según la norma ASTM E 23, en ambas técnicas, la probeta tiene forma de barra de sección cuadrada, en la cual se mecaniza una muesca en forma de V, U, según el tipo. Según la norma se tiene que tener un mínimo de probetas, en este caso cinco, para eliminar las lectura mas alta y la mas baja.

Fig. 5.12. Probeta de Fundición Gris

Fuente: *LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

- ***Equipo para ensayo.-*** Esta se encuentra constituida por un martillo en forma de péndulo, una escala que está en unidades de libras x pie con una aguja que marca el valor de la altura máxima dada por el péndulo, los apoyos y como herramienta una pinza regulada para posicionar en el mismo.

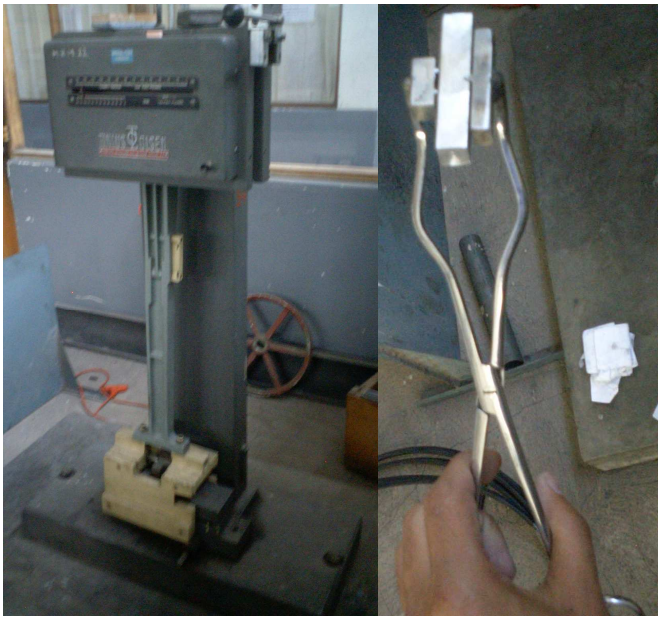


Fig. 5.13. Equipo y herramienta para ensayo de Impacto

Fuente: *LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

5.1.3.3. Materiales y Equipos

5.1.3.3.1. Materiales

- Cinco probetas de cada diferente tipo de material: Acero SAE1030, SAE4340, Duraluminio y Fundición Gris de acuerdo con la norma ASTM E-23, tipo A.

5.1.3.3.2. Equipos y herramientas

- Máquina para Ensayo de Impacto Charpy, marca (Tinius Olsen)
- Pinzas

5.1.3.4. Procedimiento de la Prueba[73]

- Mecanizar las probetas según la norma ASTM E 23
- Encerar la escala ubicando el péndulo en su posición inicial, a la altura establecida por el equipo
- Ubicar la probeta en la pinza y posicionar sobre el yunque

[73] Se encuentra de acuerdo a la norma ASTM E 23

- Dejar caer el péndulo que contiene el martillo
- Observar la lectura
- Eliminar la lectura más alta y más baja, y realizar el promedio.

5.1.3.5. Resultados del Ensayo de Impacto Charpy

Tabla 5.5. Análisis de Resultados del Ensayo de Impacto

Tipo de Material	Acero SAE1030		Acero SAE4340		Fundición Gris		Duraluminio	
Tenacidad ó Energía Absorbida [lb.pie]	6	×	38	×	1	×	17	×
	18	×	63	×	1	×	16	√
	16	√	41	√	1	√	16	×
	10	√	40	√	1	√	16	√
	9	√	40	√	1	√	16	√
Promedio [lb.pie]	11.67		40.33		1		16	

Nota: El ensayo fue realizado a temperatura ambiente

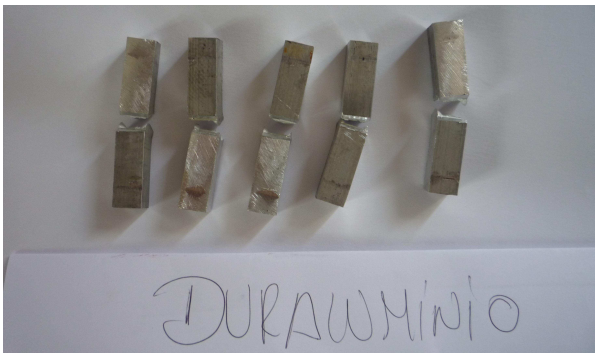


Fig. 5.14. Probetas Ensayadas por Impacto de Duraluminio

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

Fig. 5.15. Probetas Ensayadas por Impacto de Acero SAE1030

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

Fig. 5.16. Probetas Ensayadas por Impacto de Fundición Gris

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

Fig. 5.17. Probetas Ensayadas por Impacto de Acero SAE4340

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

5.1.4. ENSAYO DE TRACCIÓN

5.1.4.1. Objetivos

- Analizar los resultados del ensayo de los materiales metálicos tales como el duraluminio, acero SAE 1030

5.1.4.2. Desarrollo Teórico de la Prueba

5.1.4.2.1. Materiales Metálicos

- ***Generalidades***.- El ensayo de tracción es uno de los ensayos más utilizados para conocer la resistencia, límite de elasticidad, alargamiento y estricción, que son características muy importantes para juzgar la calidad de los metales y

aleaciones. Las normas UNE 7010, titulada *Ensayo a tracción de materiales metálicos* y E-8 de la ASTM, titulada *Ensayo de tensión*, prevé la forma de llevar a cabo dicho ensayo.

- ***Probeta.-*** Según la norma ASTM existen diversos tipos de secciones que pueden ser circular, cuadrada ó rectangular, y deben estar mecanizadas de acuerdo a la misma, manteniendo las tolerancias exigidas por la norma.

Fig. 5.18. Probetas para el ensayo de Tracción de Materiales Metálicos

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

- ***Equipo de para ensayo.***- La misma se encuentra consitituida por un cabezal móvil en este caso hidráulico, la escala de carga con dos agujas, la primera mide progresivamente la carga y la otra mide la carga máxima que soporta la probeta, un volante de carga y otro volante de descarga, y una impresora que imprime los datos obtenidos del ensayo. Entre las herramientas utilizadas se encuentra el extensómetro que mide la variación de longitud y el equipo de marcación que sirve para marcar la longitud inicial ó si no se utiliza el extensómetro sirve para marcar en divisiones exactas para luego medir su extensión.

Fig. 5.19. Máquina para Ensayo de Tracción y Herramientas

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

5.1.4.2.2. Fundición Gris

- ***Generalidades***.- Para la calificación de una Fundición de Hierro Gris se necesita realizar un ensayo de tracción que se encuentra bajo la norma ASTM A 48, la misma que le clasifica según la resistencia a la tracción en ksi y el tipo de probeta utilizada.

- ***Probeta.-*** Según la norma ASTM existen tres tipos de especimenes para el ensayo con diferentes medidas y tolerancias, la misma debe estar mecanizada cumpliendo con la normativa. Esta probeta se caracteriza porque es de sección circular y tiene además de ello hombros.

Fig. 5.20. Probeta para Ensayo de Tracción de Fundición Gris

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

5.1.4.3. Materiales y Equipos

5.1.4.3.1. Materiales

- Probetas de cada diferente tipo de material: Acero SAE1030, Acero SAE4340, Duraluminio de acuerdo con la norma ASTM E 8, espécimen 1 (tres probetas) y Fundición Gris de acuerdo con la norma ASTM A 48, espécimen A (dos probetas).

5.1.4.3.2. Equipos y herramientas

- Máquina para Ensayo de Tracción marca (Tinius Olsen)
- Extensómetro (Para los materiales metálicos)
- Equipo para marcación (Para los materiales metálicos)

5.1.4.4. Procedimiento de la Prueba para Materiales Metálicos[74]

- Mecanizar las probetas
- Marcar la longitud inicial en la probeta utilizando en equipo para marcación.
- Medir y apuntar la longitud inicial
- Colocar la probeta en la máquina de ensayo en los dispositivos de fijación.
- Encerar y ubicar la escala de carga según el material
- Ubicar el extensómetro en la probeta utilizando las marcas iniciales.
- Encerar el micrómetro del extensómetro
- Regular la velocidad del ensayo
- Accionar la máquina de ensayo
- Apuntar la extensión producida en una determinada carga periódicamente, para lograr dibujar la curva de esfuerzo vs deformación unitaria.
- Realizar los cálculos correspondientes de esfuerzos y deformaciones unitarias para realizar la gráfica.
- Realizar un resumen de las variables más importantes como: esfuerzo de fluencia, Resistencia a la tracción, Módulo de Young y el porcentaje de elongación.

[74] Se encuentra de acuerdo a la norma ASTM E 8

5.1.4.5. Procedimiento de la Prueba para Fundición Gris[75]

- Mecanizar las probetas
- Colocar la probeta en la máquina de ensayo en los dispositivos de fijación.
- Encerar y ubicar la escala de carga según el material
- Regular la velocidad del ensayo
- Accionar la máquina de ensayo
- Apuntar la carga de rotura
- Realizar el cálculo del esfuerzo según la carga de rotura.
- Clasificar la fundición gris según la resistencia a la tracción de acuerdo a la norma ASTM A 48.

5.1.4.6. Análisis de Resultados del Ensayo de Tracción en los Materiales Metálicos

Para analizar los resultados del Ensayo de Tracción, primeramente vamos a ubicar un ejemplo con los valores obtenidos del mismo, para obtener así la curva esfuerso vs deformación unitaria; para que después solamente dar los resultados finales de cada tipo de material.

[75] Se encuentra de acuerdo a la norma ASTM A 48

Tabla 5.6. Ejemplo para el Duraluminio, Probeta Nº1

Probeta Nº 1				
Diámetro [mm]	12,5	***P fluencia [lb]-[kg]***	3500	1587,301587
Longitud inicial [mm]	51,4	***P máx [lb]-[kg]***	3850	1746,031746
Longitud de Pmax [mm]	53	***P rotura [lb]-[kg]***	1500	680,2721088
Longitud final [mm]	61,9	***Área [mm2]-[cm2]***	122,71875	1,2271875
Esfuerzo de fluencia [kg/cm2]	1293,446672	***Zona de Proporcionalidad Promedio E [kg/cm2]***	489286,2825	
Esfuerzo máximo ó Resistencia a la tracción [kg/cm2]	1422,791339			
Esfuerzo de rotura [kg/cm2]	554,3342878		4,9E+05	

Carga (lb)	Carga (kg)	Deformación	Unitaria	Esfuerzo (kg/cm2)	Esfuerzo (MPa)	Modulo de Elasticidad (kg/cm2)
0	0	0	0	0	0	949759,4131
250	113,3786848	0,5	9,72763E-05	92,38904797	9,054126701	593599,6332
500	226,7573696	1,3	0,000252918	184,7780959	18,1082534	678399,5808
750	340,1360544	2	0,000389105	277,1671439	27,1623801	949759,4131
1000	453,5147392	2,5	0,000486381	369,5561919	36,2165068	474879,7066
1250	566,893424	3,5	0,000680934	461,9452399	45,27063351	949759,4131
1500	680,2721088	4	0,00077821	554,3342878	54,32476021	949759,4131
1750	793,6507937	4,5	0,000875486	646,7233358	63,37888691	678399,5808
2000	907,0294785	5,2	0,001011673	739,1123838	72,43301361	365292,082
2250	1020,408163	6,5	0,001264591	831,5014317	81,48714031	182646,041
2500	1133,786848	9,1	0,001770428	923,8904797	90,54126701	29866,64821
2750	1247,165533	25	0,004863813	1016,279528	99,59539371	16959,98952
3000	1360,544218	53	0,010311284	1108,668576	108,6495204	13967,05019
3250	1473,922902	87	0,01692607	1201,057624	117,7036471	16959,98952
3500	1587,301587	115	0,022373541	1293,446672	126,7577738	***Fluencia***
3850	1746,031746		0,031128405	1422,791339	139,4335512	***Máxima***
1500	680,2721088		0,204280156	554,3342878	54,32476021	***Rotura***

A continuación se resumirá los resultados del Ensayo de Tracción obtenidos mediante los valores y las curvas de esfuerzo vs deformación.

Tabla 5.7. Resumen de Resultados Duraluminio

Duraluminio							
Nº Probeta	Esfuerzo de Fluencia		Resistencia a la Tracción		Modulo de Young E		Porcentaje de Elongación
	Mpa	Kg/cm2	Mpa	Kg/cm2	Mpa	Kg/cm2	
1	126,76	1.293,45	139,43	1.422,79	4,8E+04	4,9E+05	20,43
2	108,65	1.108,67	134,00	1.367,36	5,1E+04	5,2E+05	23,35
3	108,65	1.108,67	139,43	1.422,79	6,5E+04	6,7E+05	22,76

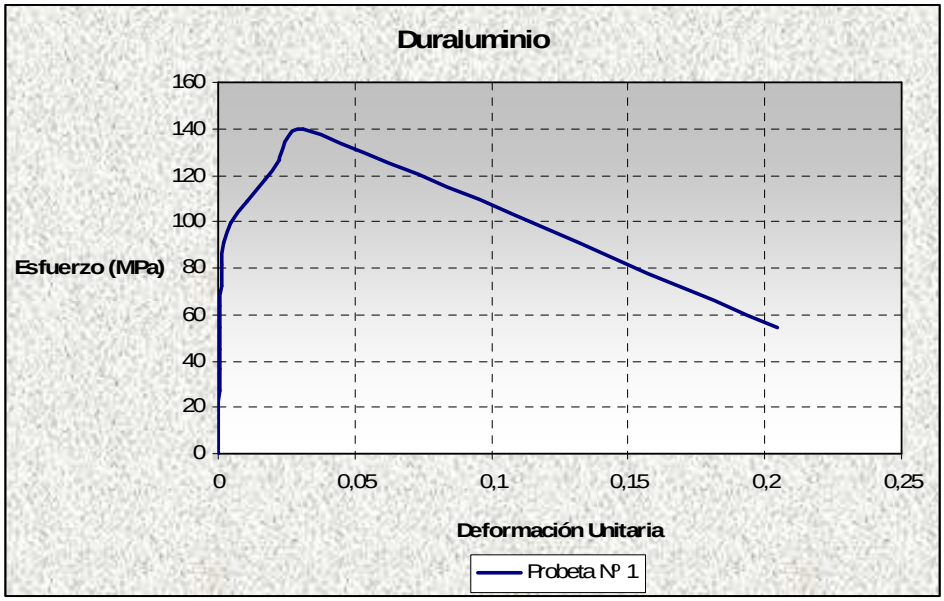


Fig. 5.21. Curva Esfuerzo vs Deformación Duraluminio-Probeta Nº1

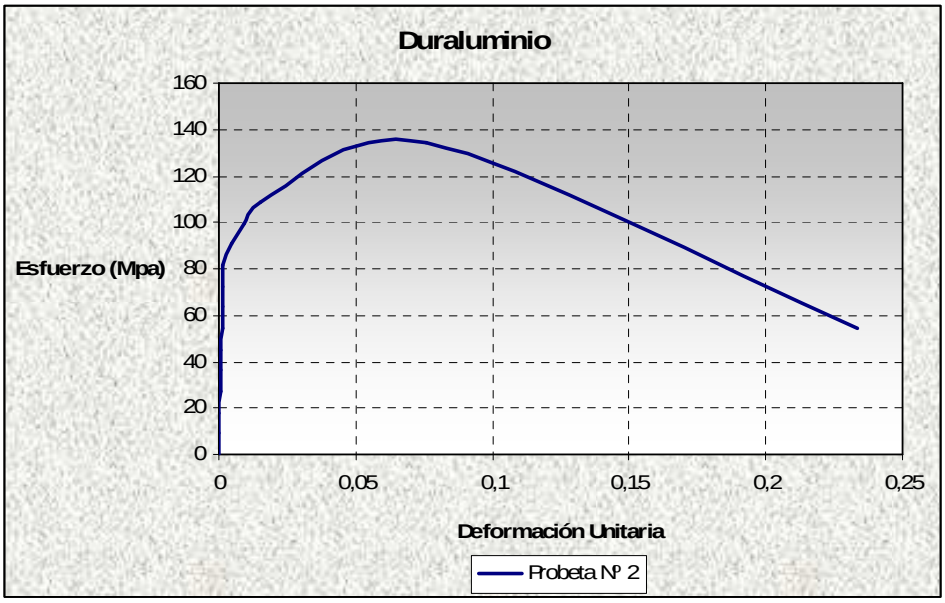


Fig. 5.22. Curva Esfuerzo vs Deformación Duraluminio-Probeta Nº2

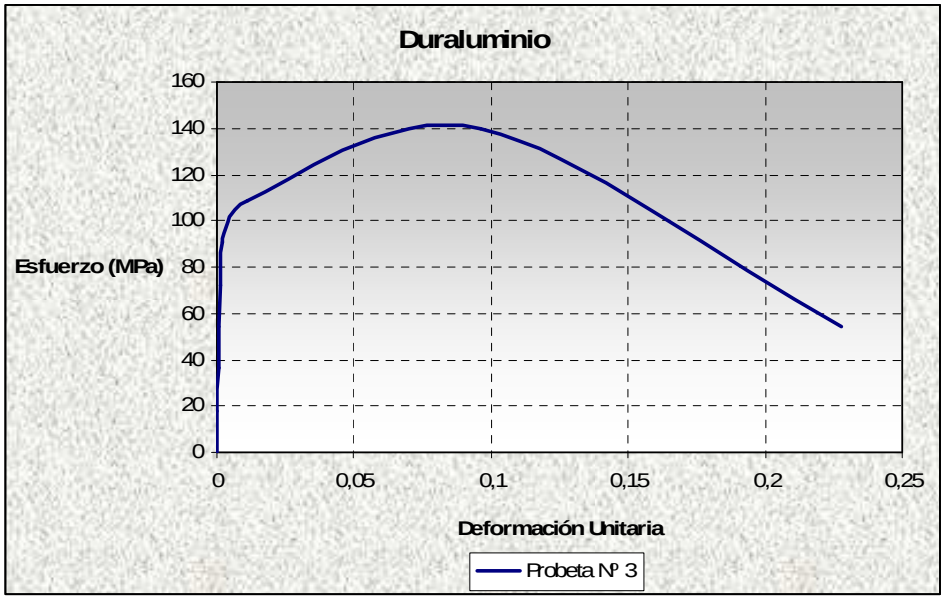


Fig. 5.23. Curva Esfuerzo vs Deformación Duraluminio-Probeta Nº3

Fig. 5.24. Probeta Ensayada por tracción de Duraluminio

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

Tabla 5.8. Resumen de Resultados Acero SAE 4340

Acero SAE 4340							
Nº Probeta	Esfuerzo de Fluencia		Resistencia a la Tracción		Modulo de Young E		Porcentaje de Elongación
	Mpa	Kg/cm2	Mpa	Kg/cm2	Mpa	Kg/cm2	
1	1.158,93	11.825,80	1.224,12	12.491,00	1,8E+05	1,9E+06	16,93
2	1.158,93	11.825,80	1.224,12	12.491,00	1,9E+05	1,9E+06	16,34
3	1.050,28	10.717,13	1.227,74	12.527,95	2,2E+05	2,2E+06	14,40

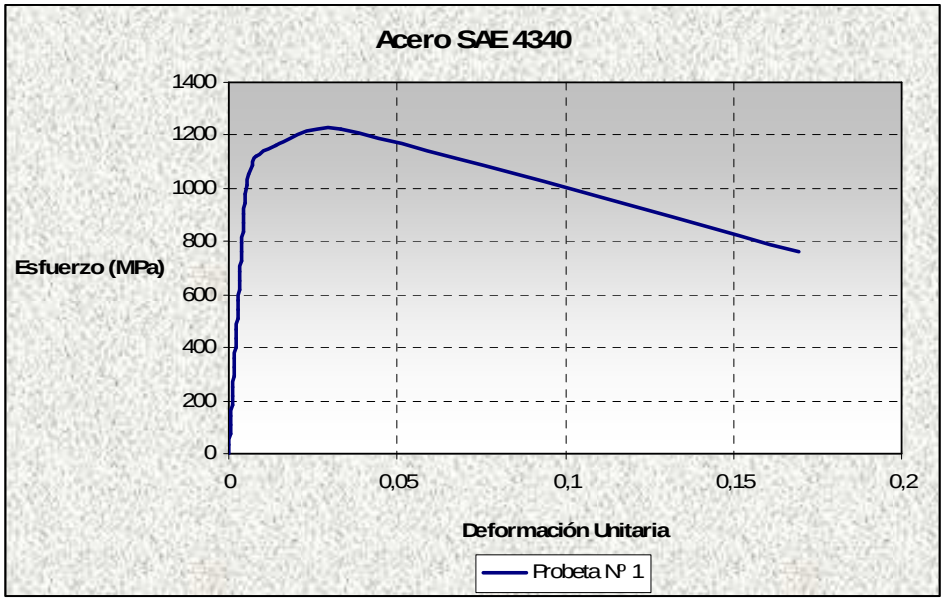


Fig. 5.25. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 4340-Probeta Nº1

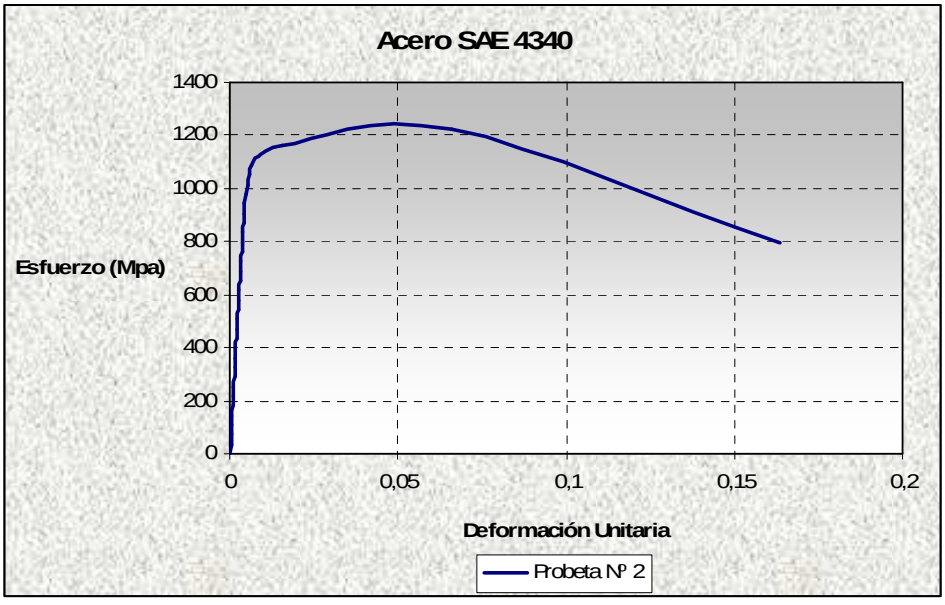


Fig. 5.26. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 4340-Probeta Nº2

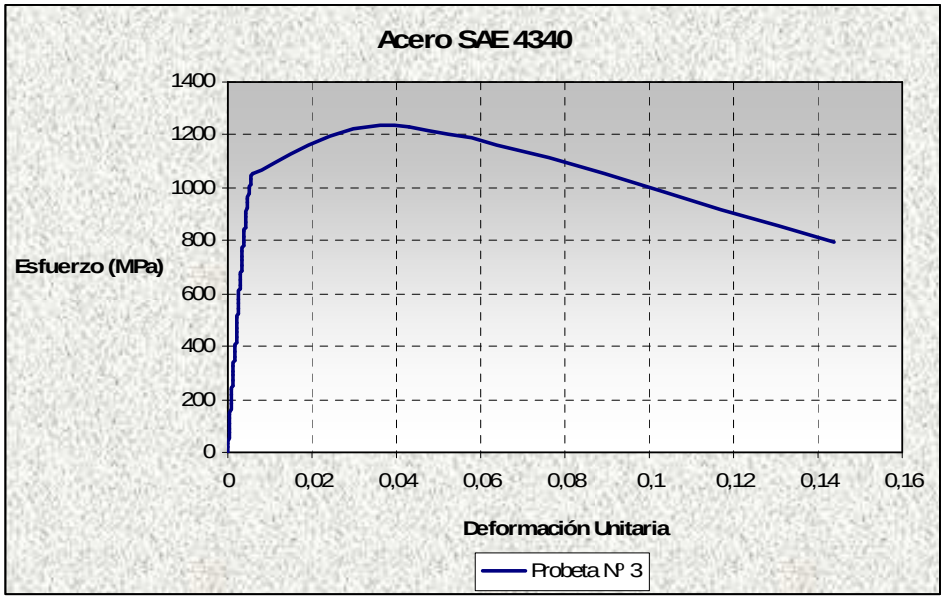


Fig. 5.27. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 4340-Probeta Nº3

Fig. 5.28. Probeta Ensayada por tracción de Acero SAE 4340

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

Tabla 5.9. Resumen de Resultados Duraluminio

Acero SAE 1030							
Nº Probeta	Esfuerzo de Fluencia		Resistencia a la Tracción		Modulo de Young E		Porcentaje de Elongación
	Mpa	Kg/cm2	Mpa	Kg/cm2	Mpa	Kg/cm2	
1	633,79	6.467,23	648,28	6.615,06	2,3E+05	2,4E+06	10,82
2	651,90	6.652,01	670,01	6.836,79	2,3E+05	2,4E+06	10,43
3	649,00	6.622,45	662,76	6.762,88	2,6E+05	2,6E+06	14,20

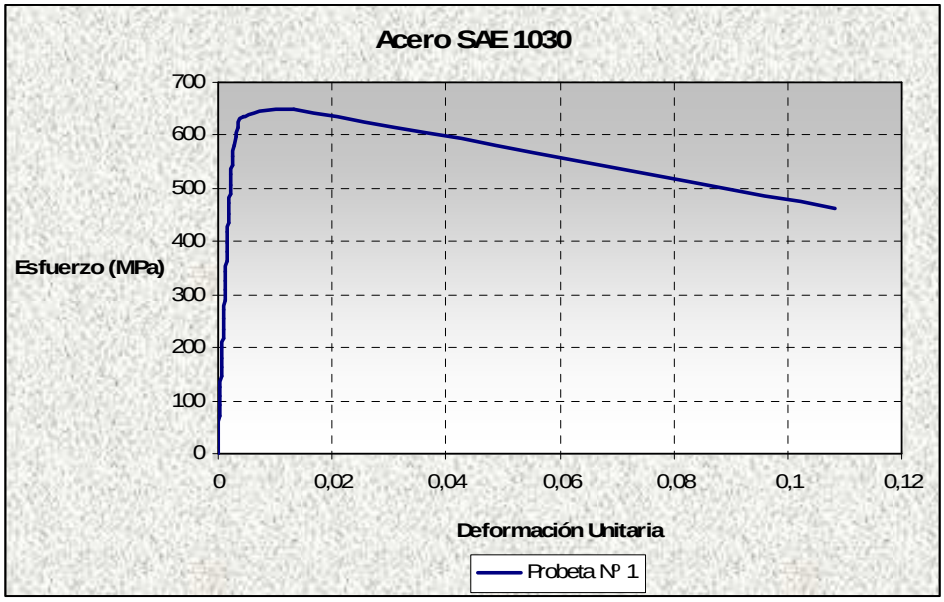


Fig. 5.29. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 1030-Probeta Nº1

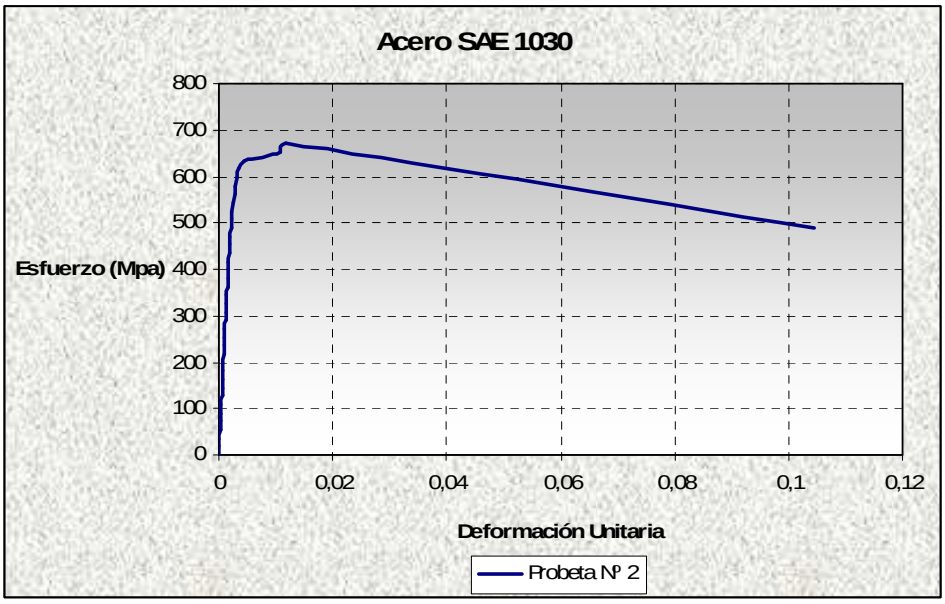


Fig. 5.30. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 1030-Probeta Nº2

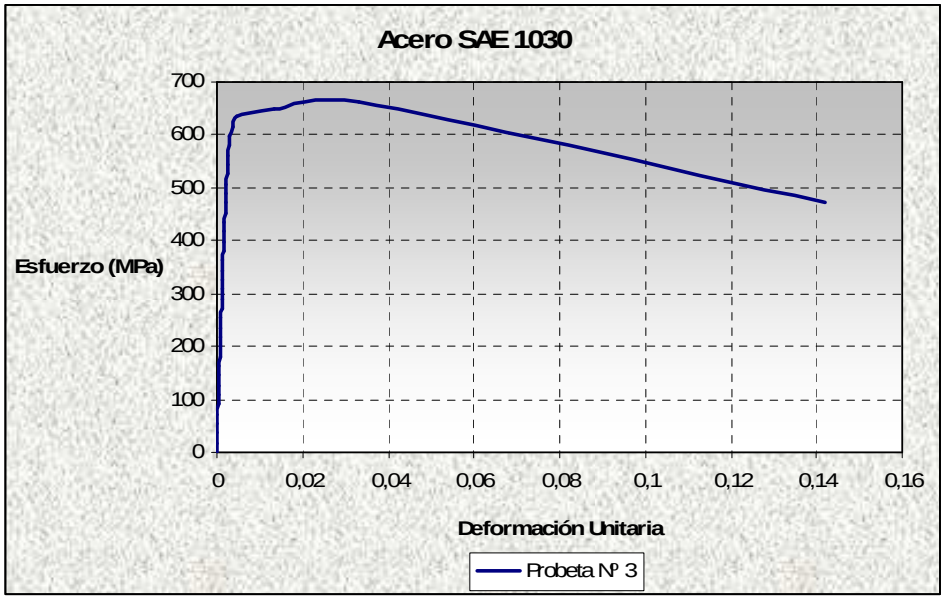


Fig. 5.31. Curva Esfuerzo vs Deformación Acero SAE 1030-Probeta Nº3

Fig. 5.32. Probeta Ensayada por tracción de Acero SAE 1030

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

5.1.4.7. Análisis de Resultados del Ensayo de Tracción de la Fundición Gris

Tabla 5.10. Resumen de Resultados Fundición Gris

Fundición Gris					
Diámetro [mm]					12,70
Área [mm2]-[cm2]				126,68	1,27
Nº Probeta	**Carga**		**Resistencia a la Tracción**		
	lb	**Kg**	**MPa**	**Kg/cm2**	**ksi**
1	6.175,00	2.800,45	216,65	2.210,70	31,45
2	5.875,00	2.664,40	206,12	2.103,30	29,92

Tabla 5.11. Calificación de las Probetas de Fundición Gris

Clasificación de la Fundición Gris		
Nº Probeta	**Norma**	**Clase**
1	ASTM Especificación A48	30A
2	ASTM Especificación A48	25A

Fig. 5.33. Probeta Ensayada por tracción de Fundición Gris

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Ensayo Realizado, fotografía*

5.1.5. ENSAYO DE IMPACTO PARA VIDRIO DE SEGURIDAD

Este tipo de ensayo se lo realiza específicamente para vidrio de seguridad, el mismo que está de acuerdo con la norma INEN 1723 cumpliéndose las especificaciones que pide la norma INEN 1669

5.1.5.1. Especificaciones Técnicas según norma INEN 1669 para espesores de vidrios entre 3.5-6.5mm

- Peso de la esfera de altura: 227g
- Altura de caída de la esfera: 2500mm

5.1.5.2. Resultados obtenidos del ensayo de impacto para vidrio de seguridad[76]

El peso de la esfera utilizada en el ensayo, fue de 1399g., esto es 6 veces el peso de la esfera que indica la Norma.

[76] Los resultados de este ensayo es obtenido de los archivos del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones como una referencia en ensayos para materiales cerámicos

Tabla 5.12. Resultados obtenidos del ensayo de impacto para vidrio de seguridad

Vidrio Nº y Color	Dimensiones [mm]	Peso de Ensayo [g]	Altura de Ensayo [mm]	Resultados
1 Color Gris	400x400x6	1.339	2.000	El vidrio no se rompe
2 Color Negro	400x400x6	1.339	2.000	El vidrio no se rompe
3 Color Claro	400x400x6	1.339	2.000	El vidrio no se rompe
4 Color Verde	400x400x6	1.339	2.000	El vidrio no se rompe
5 Color Gris	370x540x5	1.339	2.000	El vidrio no se rompe

NOTA: El vidrio Nº 4 de Color Verde fue sometido a un Segundo Ensayo, con el mismo peso de 1339g., y a una Altura de 3000ml. En este caso el vidrio tampoco se rompió.

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Prueba Ensayada, archivo*

Fig. 5.34. Vidrios de seguridad realizados el ensayo de impacto con esfera de acero

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, fotografía*

5.1.6. ENSAYO DE DOBLADO

Este tipo de ensayo se lo realiza bajo el código ASME sección IX, según el requerimiento del usuario, en este caso para comprobar fisuras en el cordón de soldadura.

5.1.6.1. Requerimientos según código ASME sección IX

- Ángulo de doblado: 180º
- Si aparecen fisuras que sean menores a 3.2mm

5.1.6.2. Resultados obtenidos del ensayo de doblado[77]

Tabla 5.13. Resultados obtenidos del ensayo de doblado

Probeta Nº	Doblado	Observaciones	Calificación
1	Lateral	Fisuras menores a 3,2 mm	Aprobada
2	Lateral	No se aprecian fisuras en el cordón de soldadura.	Aprobada
3	Lateral	No se aprecian fisuras en el cordón de soldadura.	Aprobada
4	Lateral	No se aprecian fisuras en el cordón de soldadura.	Aprobada

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Prueba Ensayada, archivo*

Fig. 5.35. Probeta realizada el ensayo de impacto

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, fotografía*

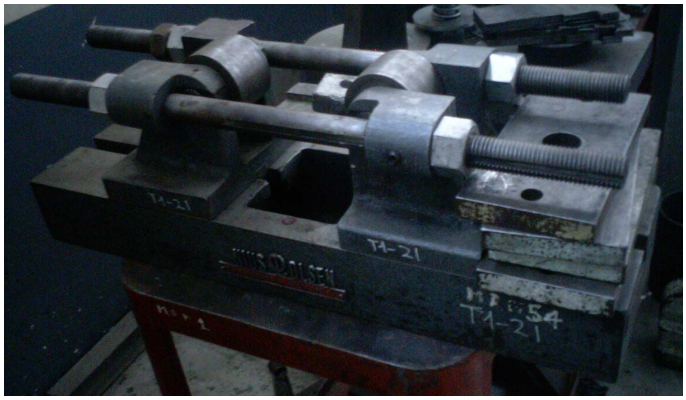


Fig. 5.36. Equipo para Ensayo de Doblado

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, fotografía*

[77] Los resultados de este ensayo es obtenido de los archivos del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones como una referencia en ensayos para materiales metálicos

5.1.7. ENSAYO DE TRACCIÓN PARA MADERA (TABLERO CONTRACHAPADO)

Este tipo de ensayo se lo realiza bajo la norma ASTM D 3500 a muestras obtenidas del tablero contrachapado, el mismo que es importante para obtener la carga máxima, resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad.

5.1.7.1. Resultados obtenidos del ensayo de tracción para madera[78]

MUESTRA: Dos probetas de madera extraídas de tablero contrachapado de 18mm de espesor.

Tabla 5.14. Resultados obtenidos del ensayo de tracción para madera

Probeta Nº	Probeta tipo	Espesor [mm]	Carga máxima N (kg)	Tiempo de Ensayo min	Resistencia a la tracción Mpa (kg/cm^2)	Módulo de elasticidad (kg/cm^2)
1	Longitudinal	18	12 819.88 (1 306.81)	4	27.91 (284.56)	78 064
2	Transversal	18	13 377.27 (1 363.63)	7	28.69 (292.5)	83 737

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, Prueba Ensayada, archivo*

Fig. 5.37. Probetas realizadas el ensayo de tracción para madera

Fuente: *LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES, fotografía*

[78] Los resultados de este ensayo es obtenido de los archivos del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones como una referencia en ensayos para materiales poliméricos en este caso madera.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. CONCLUSIONES

- El desarrollo investigativo en el país, ha tenido poca participación y apoyo por parte de instituciones, organismos y principalmente del gobierno central; debido a la poca participación profesional y campos de aplicación que está tenga en el Ecuador.

- Es importante recalcar que la existencia de nuevos materiales, constituyen un punto fundamental en el desarrollo industrial de países desarrollados, que incentivan a este tipo de ingeniería.

- La selección de materiales es una herramienta y una estrategia indispensable en el momento de diseñar un bien útil; el mismo que toma en consideración varios criterios que hacen posible un análisis y selección óptimo, que sostiene criterios: de propiedades, costos-procesos, y ambientales, que constituyen a su vez diversos factores como: físicos, mecánicos, facilidad de procesamiento, ciclo de vida de los componentes, costos-disponibilidad, código de materiales y estatutarios (normativas de reciclaje).

- En la actualidad la participación tecnológica tiene gran importancia en el momento de sistematizar el proceso de selección de materiales; debido a la facilidad que presta esta; ya que permite ubicar materiales de manera rápida y segura, debido a la utilización de mapas de propiedades e índices de desempeño que son fuente importante de una base de datos.

- La existencia de ensayos mecánicos y tecnológicos, en el control de materiales es fundamental no solo en la industria del país sino que a nivel mundial, debido

a la seguridad que entrega este tipo de mecanismo en el momento de adquirir un material cuyo uso final se encuentra enfocado a la aparición de un bien útil ante la sociedad.

6.2. RECOMENDACIONES

- La tendencia del desarrollo investigativo en el país, es uno de los principales puntos hacer tomados en cuenta por las instituciones y organismos que en su funcionamiento, deberían incentivar y valorar la investigación de nuevos materiales; ya que por medio de estos, se aportaría de una manera sustancial al crecimiento tanto económico como social del Ecuador.

- La presencia de una institución que se encargue de la investigación de nuevos materiales en el país, ayudará y fortalecerá la creación de profesionales expertos en la Ciencia y Selección de Materiales; siendo un apoyo para las actividades industriales, originando un nivel de competitividad con países que se inclinan al desarrollo y superación.

- Los criterios de selección de materiales, no deberían estar estandarizados sino conjugados con la cantidad de materiales existentes a nivel mundial, debido al descubrimiento de estos que se realiza día a día.

- El país como responsable de la investigación, debería incentivar y apoyar el desarrollo simultáneo de la selección de materiales y su sistematización; logrando de esta manera la optimización de los recursos económicos mejorando sus propiedades mecánicas.

- Para el Ecuador como país en vías del desarrollo, es recomendable incentivar el control en el momento de seleccionar materiales, incrementando laboratorios para ensayos mecánicos y tecnológicos en cada una de las Industrias Nacionales y en caso de no contar con un apoyo económico para este tipo de innovación, como entidades gestoras, deberían regirse a la normativa correspondiente, que establece la realización de este tipo de

controles y que puede ser enviadas a Instituciones públicas y privadas para su cumplimiento.

6.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **APRAIZ B.** José, *Aceros Especiales*, Madrid: Dossat; 5ta edición, 1975
- **APRAIZ B.** José, *Tratamientos Térmicos de los Aceros*, Madrid: Dossat; 6ta edición, 1968
- **ASHBY** Michael, *Materials Selection in Mechanical Design*, Oxford: Elsevier, 2ra edición, 1999
- **ASHBY** Michael, *Materials Selection in Mechanical Design*, Oxford: Elsevier, 3ra edición, 2005
- **ASKELAND** Donald, *La Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, México: Iberoamérica, s/e, 1985.
- **ASM** International, *Metals Handbook*, Desk Edition, 2da edición, Ohio, 1998
- **ASM** International, *Metals Handbook*, V1 Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys, 10da edición, Ohio, 1993
- **ASM** International, *Metals Handbook*, V2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 10da edición, Ohio, 1992
- **ASM** International, *Metals Handbook*, V20 Materials Selection & Design, 1da edición, Ohio, 1997
- **AVNER** Sydney, *Introducción a la Metalurgia Física*, México: McGraw Hill, 2da edición, 1988.
- **BCE**, *Cifras Económicas*, Boletín Febrero 2008
- **CALLISTER** William, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Madrid: Reverté, 6ta edición, 1995
- **CARDENAS** Víctor, *Breve Visión de la Tecnología de los Materiales en el Ecuador*, Quito: E.P.N.
- **ESPOCH**, *I Simposio Internacional de Ingeniería de Mantenimiento*, Archivo ppt Sistematización de la Selección de Materiales, 2008
- **LUCCHESI** Domenico, *Pruebas Mecánicas sobre Materiales Metálicos*, Barcelona: Labor, S/E, S/A.
- **LARBURU** Nicolás, *Máquinas Prontuario*, Madrid: Thomson, 13a edición, 2005.

- **LASHERAS** Esteban, *Materiales Industriales*, Zaragoza: S/E, 1981
- **MANGONON** Pat, *Ciencia de Materiales Selección y Diseño*, México: Pearson Educación, 1ra edición, 2001.
- **NORMA** SAE J402, *SAE Numbering System for Wrought or Rolled Steel*, 1984
- **NORMA** SAE J993b, *Alloy and Temper Designation System for Aluminum*, 1972
- **NORMA** ASTM Índice
- **NORMA** ASTM A48, *Standard Specification for Gray Iron Castings*, 1994
- **NORMA** ASTM E3, *Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*, 1994
- **NORMA** ASTM E8, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, 2004
- **NORMA** ASTM E18, *Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*, 2005
- **NORMA** ASTM E23, *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*, 2002
- **LABORATORIO** de Metalografía, *Guía de Prácticas*, Quito: E.P.N., Facultad de Ingeniería Mecánica.
- **RUIZ** Rodrigo, *Folleto de Tratamientos Térmicos*, Quito: E.P.N., Escuela de Formación de Tecnólogos.
- **SHARKUS** Eduard, *Tablas para la Industria Metalúrgica*, Barcelona: Reverté, s/e, 1976.
- **PAGINAS** Web
  - http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/tema21.pdf
  - http://www.utp.edu.co/~publio17
  - http://www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/d12.html
  - http://www.cendi.org.mx
  - http://html.rincondelvago.com/aleaciones-de-cobre-y-niquel.html
  - http://www.inec.gov.ec
  - http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2003/n1/Revista_2003_Vol_16_N1_Art03.pdf
  - http://www.epn.edu.ec
  - http://www.grantadesign.com

- http://www.matweb.com
- http://www.matdata.net
- http://www.wikipedia.com/wiki/acero.html
- http://www.aguilasdeacero.files.wordpress.com

ANEXO A

Tabla A.1. Propiedades Mecánicas Según de Designación AISI-SAE

Acero AISI-SAE Nº	Propiedades Mecánicas				
	Limite de Rotura Kg/mm^2	Limite de Fluencia Kg/mm^2	Alarga-miento %	Estricción %	Nº de dureza Brinell
1010	46	42	23	51	141
1015	51	43	22	51	150
1020	55	46	21	50	160
1022	43	30	31	61	126
1024	60	56	26	57	156
1025	56	42	28	59	168
1030	63	45	26	56	185
1035	58	34	25	51	174
1040	64	53	18	46	195
1045	65				185
1050	72	42	18	41	201
1060	77				225
1095	65	33	6	7	207
1112	62	53	20	45	167
1113	62	53	20	45	183
1115	53	35	30	53	
1120	48	29	30	50	120
1120	55	48	20	50	152
1117	56	48	23	52	167
1118	47	30	42	64	120
1118	64	53	20	45	161
1132	68	51	14	32	200
1137	80	59	21	57	229
1330	78	51	22	57	212
1335	91	72	17	52	262
1340	95	74	15	51	277
1345	99	76	13	50	241
1350	103	78	11	49	305
2115	66	60	17	60	175
2315	61	55	17	61	192
2320	73	70	15	58	223
2330	87	84	12	43	223
2335	119	104	17	54	335
2340	75	52	22	47	223
2345	88	58	20	39	
2350	94	61	17	33	
2512	98				
2515	81	53	28	60	226

3115	54	48	25	68	163
3120	69	56	20	63	174
3125	78	65	16	58	187
3130	83	79	14	55	210
3140	88	84	13	45	241
3141	72	48	26	55	207
3145	82	59	19	48	223

Tabla A.1. Continuación

Acero AISI-SAE Nº	Propiedades Mecánicas				
	Limite de Rotura Kg/mm^2	Limite de Fluencia Kg/mm^2	Alarga-miento %	Estricción %	Nº de dureza Brinell
3150	68	36	27	42	178
3230	63	46	33	65	174
3240	75	72	19	65	287
3245	71	46	25	62	
3250	67	38	28	55	180
3312	78	69	25	73	228
3325	120	100	17	54	352
3335	132	119	12	50	375
3340	88	70	23	59	255
3415	53	32	40	69	163
3430	119	91	15	40	341
3435	83	76	16	52	241
3450	73	41	18	25	219
4115	61	41	32	168	158
4130	70	46	26	58	217
4135	80		18	53	
4140	96	57	19	42	277
4150	107		12	28	500
4540	149	156	12	41	429
4545	169	155	11	46	444
4615	75	72	14	56	212
4320	96	75	21	63	280
4640	86	68	25	62	248
4650	84	63	18	44	241
4815	66	48	28	62	187
4820	140	126	15	61	390
5120	70	50	21	67	210
5130	136	118	12	49	375
5135	63	41	25	57	207
5140	77	49	22	61	212
5150	95	69	15	50	285
5210	678	41	30	61	187
6115	57	55	30	63	170
6120	80	53	23	64	255
6125	80	53	23	64	
6130	89	74	18	54	264
6135	76	53	23	64	217

6140	88	69	22	47	2621
6145	98	57	10	26	302
6150	95	70	20	47	277
30905	64	39	71	80	187
30905	53	23	57	63	142
51210	65	53	26	74	198

Tabla A.2. Propiedades de los materiales

TIPO DE MATERIAL / UNIDAD	**Temperatura de Fusión o Temperatura de Vidriado** $T_m T_g (°C)$	**Densidad** $\rho(Mg/m^3)$	**Módulo de Young** $E(GPa)$	**Esfuerzo de Fluencia** $\sigma_y(MPa)$	**Esfuerzo último a la Tracción** $\sigma_{ts}(MPa)$	**Tenacidad a la Fractura** $K_{IC}(MPa\sqrt{m}$	**Conductividad Térmica** $\lambda(W/m.K)$	**Coeficiente de Expansión Térmica** $\alpha(10^{-6}/C$	**Producción aproximada de Energía** *Energy* (MJ/kg)	**Producción aproximada de Carga CO2** $CO_2(kg/kg)$
Metales										
Hierro Fundido	1130-1250	7,05 - 7,25	165 - 180	215 - 790	350 - 1000	22 - 54	29 - 44	10 - 12,5	16,4 - 18,2	1,0 - 1,1
Acero de alto contenido de carbono	1289-1478	7,8 - 7,9	200 - 215	400 - 1155	550 - 1640	27 - 92	47 - 53	11 - 13,5	24,3 - 26,9	2,1 - 2,1
Acero de medio contenido de carbono	1380-1514	7,8 - 7,9	200 - 216	305 - 900	410 - 1200	12 - 92	45 - 55	10 - 14	23,4 - 25,8	2,0 - 2,1
Acero de bajo contenido de carbono	1480-1526	7,8 - 7,9	200 - 215	250 - 395	345 - 580	41 - 82	49 - 54	11,5 - 13	22,4 - 24,8	1,9 - 2,1
Acero de baja aleación	1382-1529	7,8 - 7,9	201 - 217	400 - 1100	460 - 1200	14 - 200	34 - 55	10,5 - 13,5	31,0 - 34,3	1,9 - 2,2
Acero Inoxidable	1375-1450	7,6 - 8,1	189 - 210	170 - 1000	480 - 2240	62 - 280	11 - 19	13 - 20	77,2 - 85,3	4,8 - 5,4
No Ferrosos										
Aluminio y sus aleaciones	475-677	2,5 - 2,9	68 - 82	30 - 500	58 - 550	22 - 35	76 - 235	21 - 24	184 - 203	11,6 - 12,8
Cobre y sus aleaciones	982-1082	8,93 - 8,94	112 -148	30 - 500	100 - 550	30 - 90	160 - 390	16,9 - 18	63,0 - 69,7	3,9 - 4,4
Plomo y sus aleaciones	322-328	10 - 11,4	12,5 - 15	8 - 14	12 - 20	5 - 15	22 - 36	18 - 32	46,6 - 51,5	2,6 - 3,8
Magnesio y sus aleaciones	447-649	1,74 - 1,95	42 - 47	70 - 400	185 - 475	12 - 18	50 - 156	24,6 - 28	356 - 394	22,4 - 24,8
Níquel y sus aleaciones	1435-1466	8,83 - 8,95	190 - 220	70 - 1100	345 - 1200	80 - 110	67 - 91	12 - 13,5	127 - 140	7,9 - 8,8
Titanio y sus aleaciones	1477-1682	4,4 - 4,8	90 -120	250 - 1245	300 - 1625	14 - 120	5 - 12	7,9 - 11	885 - 945	41,7 - 59,5
Tungsteno y sus aleaciones									313 - 346	19,7 - 21,8
Zinc y sus aleaciones	375-492	4,95 - 7	68 - 95	80 - 450	135 - 52	10 - 100	100 - 135	23 - 28	46,8 - 51,7	2,5 - 2,8
Cerámicos										
Vidrio										
Vidrio de Boroslicato	450-602	2,2 - 2,3	61 - 64	264 - 384	22 - 32	0,5 - 0,7	1 - 1,3	3,2 - 4,0	23,8 - 26,3	1,3 - 1,4
Vidrio Cerámico	563-1647	2,2 - 2,8	64 - 110	750 - 2129	62 - 177	1,4 - 1,7	1,3 - 2,5	1 - 5	36,2 - 40,0	1,9 - 2,2
Vidrio sílice	957-1557	2,17 - 2,22	68 - 74	1100 - 1600	45 - 155	0,6 - 0,8	1,4 - 1,5	0,55 - 0,75	29,9 - 33,0	1,6 - 1,8
Vidrio de Cal - Soda	442-592	2,44 - 2,49	68 - 72	360 - 420	31 - 35	0,55 - 0,7	0,7 - 1,3	9,1 - 9,5	13,0 - 14,4	0,7 - 0,8

Tabla A.2. Continuación

UNIDAD / TIPO DE MATERIAL	Temperatura de Fusión o Temperatura de Vidriado	Densidad	Módulo de Young	Esfuerzo de Fluencia	Esfuerzo último a la Tracción	Tenacidad a la Fractura	Conductividad Térmica	Coeficiente de Expansión Térmica	Producción aproximada de Energía	Producción aproximada de Carga CO2
	$T_m T_g (^oC)$	$\rho(Mg/m^3)$	$E(GPa)$	$\sigma_y(MPa)$	$\sigma_{ts}(MPa)$	$K_{IC}(MPa\sqrt{m}$	$\lambda(W/m.K)$	$\alpha(10^{-6}/C$	$Energy\ (MJ/kg)$	$CO_2(kg/kg)$
Poroso										
Ladrillo	927- 1227	1,9 - 2,1	10 - 50	50 - 140	7 - 14	1 - 2	0,46 - 0,73	5 - 8	1,9 - 2,1	0,14 - 0,16
Concreto	927 -1277	2,2 - 2,6	25 - 38	32 - 60	2 -6	0,35 - 0,45	0,8 - 2,4	6 - 13	1,1 - 1,2	0,16 - 0,18
Piedra	1227-1427	2,5 - 3	120 - 133	34 - 248	5 - 17	0,7 - 1,5	5,4 - 6,0	3,7 - 6,3	0,18 - 0,2	0,01 - 0,02
Técnico										
Alumina	2004-2096	3,5 - 3,98	215 - 413	690 - 5500	350 - 665	3,3 - 4,8	30 - 38,5	7 - 10,9	49,5 - 54,7	2,7 - 3,0
Nitrito de Aluminio	2397-2507	3,26 - 3,33	302 - 348	1970 - 2700	197 - 270	2,5 - 3,4	80 - 200	4,9 - 6,2	209 - 231	11,3 - 12,5
Carburo de Boro	2372-2507	2,35 - 2,55	400 - 472	2583 - 5687	350 - 560	2,5 - 3,5	40 - 90	3,2 - 3,4	153 - 169	8,3 - 9,1
Silicio	1407-1412	2,3 - 2,35	140 - 155	3200 - 3460	160 - 180	0,83 - 0,94	140 - 150	3,2 - 2,7	56,9 - 62,9	3,1 - 3,4
Carburo de silicio	2152-2500	3 - 3,21	300 - 460	1000 - 5250	370 - 680	2,5 - 5	115 - 200	4,0 - 5,1	70,2 - 77,6	3,8 - 4,2
Nitruro de Silicio	2388-2496	3 - 3,29	280 - 310	524 - 5500	690 - 800	4 - 6	22 - 30	3,2 - 3,6	70,2 - 77,6	3,79 - 4,18
Carburo de tungsteno	2827-2920	15,3 - 15,9	600 - 720	3347 - 6833	370 - 550	2 - 3,8	55 - 88	5,2 - 7,1	82,4 - 91,11	4,4 - 4,9
Aluminio / Carburo de silicio	525-627	2,66 - 2,9	81 - 100	280 - 324	290 - 365	15 - 24	180 - 160	15 - 23	250 - 300	14 - 16
CFRP	n.a	1,5 - 1,6	69 - 150	550 - 1050	550 - 1050	6,1 - 88	1,28 - 2,6	1 - 4	259 - 286	21- 23
GFRP	n.a	1,75	15 - 28	110 - 192	138 - 241	7 - 23	0,4 - 0,55	8,6 - 33	107 - 118	7,5 - 8,3
Natural										
Bamboo	77-102	0,6 - 0,8	15 - 20	35 - 44	36 - 45	5 - 7	0,1 - 0,18	2,6 - 10	1,44 - 15,39	- 1,2 - - 1,0
Cork	77-102	0,12 - 0,24	0,013 - 0,05	0,3 - 1,5	0,5 - 2,5	0,05 - 0,1	0,035 - 0,048	130 - 230	28,5 - 31,5	0,19 - 0,21
Cuero	107-127	0,81 - 1,05	0,1 - 0,5	5 - 10	20 - 26	3 - 5	0,15 - 0,17	40 - 50	102 - 113	2,6 - 2,8
Madera típico longitudinalmente	77-102	0,6 - 0,8	6 - 20	30 - 70	60 - 100	5 - 9	0,31 - 0,38	2 - 11	14,4 - 15,9	- 1,2 -- 1,0
Madera típico transversalmente	77-102	0,6 - 0,8	0,5 - 3	2 - 6	4 - 9	0,5 - 0,8	0,15 - 0,19	32 - 42	14,4 - 15,9	- 1,2 --1,0

Tabla A.2. Continuación

TIPO DE MATERIAL / UNIDAD	Temperatura de Fusión o Temperatura de Vidriado	Densidad	Módulo de Young	Esfuerzo de Fluencia	Esfuerzo último a la Tracción	Tenacidad a la Fractura	Conductividad Térmica	Coeficiente de Expansión Térmica	Producción aproximada de Energía	Producción aproximada de Carga CO2
	$T_m T_g (^oC)$	$\rho(Mg/m^3)$	$E(GPa)$	$\sigma_y(MPa)$	$\sigma_{ts}(MPa)$	$K_{IC}(MPa\sqrt{m}$	$\lambda(W/m.K)$	$\alpha(10^{-6}/C$	$Energy\ (MJ/kg)$	$CO_2(kg/kg)$
Polímeros										
Elastómeros	- 73 - - 63	0,9 - 0,92	0,001 - 0,002	2 - 3	5 - 10	0,07 - 0,1	0,08 - 0,1	120 - 300	76,5 - 84,6	2,1 - 2,4
Caucho butílico	- 73 - - 23	0,945 - 0,955	0,01 - 0,04	12 - 18	16 - 20	0,5 - 0,7	0,3 - 0,4	160 - 190	86,7 - 95,8	2,9 -3,2
EVA	- 83 - - 78	0,93 - 0,94	0,0014 - 0,004	20 - 25	20 - 25	0,07 - 0,1	0,08 - 0,14	150 - 450	76,5 - 84,6	2,2 - 2,4
Isopreno(IR)	- 78 - - 63	0,92 - 0,93	0,0015 - 0,0025	20 - 30	22 - 32	0,15 - 0,25	0,1 - 0,14	150 - 450	38,0 - 42,0	- 0,5 -- 0,4
Caucho Natural (NR)	- 48 - - 43	1,23 - 1,25	0,0007 - 0,002	3,4 - 24	3,4 - 24	0,1 - 0,3	0,08 - 0,14	575 - 610	95,9 - 106	3,5 -3,9
Neopreno (CR)	- 73 - - 23	1,02 - 1,25	0,002 - 0,003	2,5 - 51	25 - 51	0,2 - 0,4	0,28 - 0,3	150 - 165	109 - 120	4,5 - 4,9
Elastómero Poluiretano (elPU)	- 123 - - 73	1,3 - 1,8	0,005 - 0,02	2,4 - 5,5	2,4 - 5,5	0,03 - 0,5	0,3 - 1,0	250 - 300	152 - 168	8,2 - 9,0
Elastómero Silicona										
Termoplásticos										
Acrilonitrilo butadieno estireno	88-128	1,01 - 1,21	1,1 - 2,9	18,5 - 51	27,6 - 55,2	1,19 - 4,30	0,19 - 0,34	84,6 - 234	91 - 102	3,27 - 3,62
Celulosa polímeros (CA)	- 9 - 107	0,98 - 1,3	1,6 - 2	2,5 - 45	25 - 50	1 - 2,5	0,13 - 0,3	150 - 300	108 -119	4,4 - 4,87
Ionómeros (I)	27 - 77	0,93 - 0,96	0,2 - 0,424	8,3 - 15,9	17,2 - 37,2	1,14 - 3,43	0,24 - 0,28	180 - 306	102 - 112	3,96 - 4,38
Nylon (PA)	44 - 56	1,12 - 1,14	2,62 - 3,2	50 - 94,8	90 - 165	2,22 - 5,62	0,23 - 0,25	144 - 150	102 - 113	4,0 - 4,41
Policarbonato (PC)	142 - 205	1,14 - 1,21	2 - 2,44	59 - 70	60 - 72,4	2,1 - 4,60	0,19 - 0,22	120 - 137	105 - 116	3,80 - 4,2
PEEK	143 -199	1,3 - 1,32	3,5 - 4,2	65 - 95	70 - 103	2,73 - 4,30	0,24 - 0,26	72 - 194	223 - 246	12,7 - 14
Polietileno (PE)	- 25 - - 15	0,939 - 0,96	0,621 - 0,896	17,9 - 29	20,7 - 44,8	1,44 - 1,72	0,40 - 0,44	126 - 198	76,9 - 85	1,95 - 2,16
Polietilentereftalato (PET)	68 - 80	1,29 - 1,4	2,76 - 4,14	56,5 - 62,3	48,3 - 72,4	4,5 - 5,5	0,14 - 0,15	114 - 120	76,9 - 88	2,21 - 2,45
Metacrilato de polimetilo (PMMA)	85 - 165	1,16 - 1,22	2,24 - 3,8	53,8 - 72,4	48,3 - 79,6	0,7 - 1,6	0,08 - 0,25	72 - 162	93,8 - 104	3,4 - 3,76
Polioximetileno (acetal) (POM)	- 18 - -8	1,39 - 1,43	2,5 - 5	48,6 - 72,4	60 -89,6	1,71 - 4,2	0,22 - 0,35	76 - 201	99,5 - 110	3,8 - 4,2
Polipropileno (PP)	- 25 - - 15	0,89 - 0,91	0,896 - 1,55	20,7 - 37,2	27,6 - 41,4	3 - 4,5	0,11 - 0,17	122 - 180	75,4 - 83,3	2,07 -2,09
Poliestireno (PS)	74 - 110	1,04 - 1,05	2,28 - 3,34	28,7 - 56,2	35,9 - 56,5	0,7 - 1,1	0,12 - 0,12	90 - 153	96 - 106	2,85 - 3,13
Poliuretano Termoplástico (tpUP)	120 - 160	1,12 - 1,24	1,31 - 2,07	40 - 53,8	31- 62	1,84 - 4,97	0,23 - 0,24	90 - 144	113 - 125	4,77 - 5,28
Cloruro de polivinilo (PVC)	75 - 105	1,3 - 1,58	2,14 - 4,14	35,4 - 52,1	40,7 - 65,1	1,46 - 5,12	0,15 - 0,29	100 - 150	63,5 - 70,2	1,85 - 2,04
Politetrafluoretileno - Teflon (PTFE)	107 - 123	2,14 - 2,2	0,4 - 0,552	15 - 25	20 - 30	1,32 - 1,8	0,24 - 0,26	126 - 216	145 - 160	7,07 - 7,81
Termoestables										
Epoxis	n/a	1,11 - 1,4	2,35 - 3,075	36 - 71,7	45 -89,6	0,4 - 2,22	0,18 - 0,5	58 - 117	90 - 100	3,2 - 3,6
Fenólico	n/a	1,24 - 1,32	2,76 - 4,83	27,6 - 49,7	34,5 - 62,1	0,79 - 1,21	0,14 - 0,15	120 - 125	86 - 95	2,8 - 3,2
Poliéster	n/a	1,04 - 1,4	2,07 - 4,41	33 - 40	41,4 - 89,6	1,09 - 1,70	0,28 - 0,3	99 - 180	84 - 90	2,7 - 3,0

Tabla A.2. Continuación

TIPO DE MATERIAL / UNIDAD	Temperatura de Fusión o Temperatura de Vidriado	Densidad	Módulo de Young	Esfuerzo de Fluencia	Esfuerzo último a la Tracción	Tenacidad a la Fractura	Conductividad Térmica	Coeficiente de Expansión Térmica	Producción aproximada de Energía	Producción aproximada de Carga CO2
	$T_m T_g (^oC)$	$\rho(Mg/m^3)$	$E(GPa)$	$\sigma_y(MPa)$	$\sigma_{ts}(MPa)$	$K_{IC}(MPa\sqrt{m}$	$\lambda(W/m.K)$	$\alpha(10^{-6}/C$	$Energy\ (MJ/kg)$	$CO_2(kg/kg)$
Polímeros Espumoso										
Flexible Polímeros Espumoso (VLD)	112 - 177	0,016 - 0,035	0,0003 - 0,001	0,01 - 0,12	0,24 - 0,85	0,005 - 0,02	0,0,36 - 0,048	120 - 220	113 - 125	4,78 - 5,28
Flexible Polímeros Espumoso (LD)	112 - 177	0,038 - 0,07	0,001 - 0,003	0,02 - 0,3	0,24 - 2,35	0,015 - 0,05	0,04 - 0,06	115 - 220	113 - 125	4,78 - 5,28
Flexible Polímeros Espumoso (MD)	112 - 177	0,07 - 0,115	0,004 - 0,012	0,05 -0,7	0,43 - 2,95	0,03 - 0,09	0,04 - 0,08	115 - 220	113 - 125	4,78 - 5,28
Rígido Polímeros Espumoso (LD)	67-171	0,036 - 0,07	0,023 - 0,08	0,3 - 1,7	0,45 - 2,25	0,002 - 0,02	0,023 - 0,04	20 - 80	138 - 153	6,59 - 7,28
Rígido Polímeros Espumoso (MD)	67-171	0,078 - 0,165	0,08 - 0,2	0,4 - 3,5	0,65 - 5,1	0,007 - 0,049	0,027 - 0,038	20 -75	155 - 171	7,78 - 8,8
Rígido Polímeros Espumoso (HD)	67-171	0,17 - 0,47	0,2 - 0,48	0,8 - 12	1,2 - 12,4	0,024 - 0,091	0,34 - 0,06	22 - 70	150 - 165	7,42 - 8,19

Fuente: *ASBHY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. P. 518-533*

Tabla A.3. Resistencia Ambiental de los Materiales

UNIDAD / TIPO DE MATERIAL	Inflamabilidad	Agua Dulce	Agua Salada	Luz Solar	Resistencia al Deterioro
Metales					
Ferrosos					
Hierro Fundido	A	B	C	A	A
Acero de alto contenido de carbono	A	B	C	A	A
Acero de medio contenido de carbono	A	B	C	A	A
Acero de bajo contenido de carbono	A	B	C	A	A
Acero de baja aleación	A	B	C	A	A
Acero Inoxidable	A	A	A	A	B
No Ferrosos					
Aluminio y sus aleaciones	B	A	B	A	C
Cobre y sus aleaciones	A	A	A	A	A
Plomo y sus aleaciones	A	A	A	A	C
Magnesio y sus aleaciones	A	A	D	A	C
Níquel y sus aleaciones	A	A	A	A	B
Titanio y sus aleaciones	A	A	A	A	C
Zinc y sus aleaciones	A	A	C	A	E
Cerámicos					
Vidrio					
Vidrio de Boroslicato	A	B	B	A	A
Vidrio Cerámico	A	A	A	A	A
Vidrio silice	A	A	A	A	B
Vidrio de Cal - Soda	A	A	A	A	A
Poroso					
Ladrillo, Concreto, Piedra	A	A	A	A	C
Técnico					
Alumina	A	A	A	A	A
Nitrito de Aluminio	A	A	A	A	A
Carburo de Boro	A	A	A	A	A
Silicio	A	A	B	A	B
Carburo de silicio	A	A	A	A	A
Nitruro de Silicio	A	A	A	A	A
Carburo de tungsteno	A	A	A	A	A
Compuestos					
Metal					
Aluminio / Carburo de silicio	A	A	B	A	B
Polímero					
CFRP	B	A	A	B	C
GFRP	B	A	A	B	C

Tabla A3. Continuación

TIPO DE MATERIAL / UNIDAD	Inflamabilidad	Agua Dulce	Agua Salada	Luz Solar	Resistencia al Deterioro
Natural					
Bamboo	D	C	C	B	D
Cork	D	B	B	A	B
Cuero	D	B	B	B	B
Madera	D	C	C	B	D
Polímeros					
Elastómeros					
Caucho butílico	E	A	A	B	B
EVA	E	A	A	B	B
Isopreno(IR)	E	A	A	B	B
Caucho Natural (NR)	E	A	A	B	B
Neopreno (CR)	E	A	A	B	B
Elastómero Poliuretano (elPU)	E	A	A	B	B
Elastómero Silicona	B	A	A	B	B
Termoplásticos					
Acrilonitrilo butadieno estireno	D	A	A	C	D
Celulosa polímeros (CA)	D	A	A	B	C
Ionómeros (I)	D	A	A	B	C
Nylon (PA)	C	A	A	C	C
Policarbonato (PC)	B	A	A	B	C
PEEK	B	A	A	A	C
Polietileno (PE)	D	A	A	D	C
Polietilentereftalato (PET)	D	A	A	B	C
Metacrilato de polimetilo (PMMA)	D	A	A	A	C
Polioximetileno (acetal) (POM)	D	A	A	C	B
Polipropileno (PP)	D	A	A	D	C
Poliestireno (PS)	D	A	A	C	D
Poliuretano Termoplástico (tpUP)	C	A	A	B	C
Cloruro de polivinilo (PVC)	A	A	A	A	C
Politetrafluoretileno – Teflón (PTFE)	A	A	A	B	B
Termoestables					
Epoxis	B	A	A	B	C
Fenólico	B	A	A	A	C
Poliéster	D	A	A	A	C
Polímeros Espumoso					
Flexible Polímeros Espumoso	E	A	A	C	D
Rígido Polímeros Espumoso	C	A	A	B	E

Rango: A = Muy bueno, B=bueno, C=promedio, D=pobre, E=muy pobre

Fuente: *ASBHY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. P. 534-535*

Tabla A.4. Rigidez - Límite de diseño en masa mínima

Función y limitación	Maximizar
Barra (carga – tracción) Rigidez, Longitud específica; área de sección variable	E/ρ
Árbol (carga – torsión) Rigidez, longitud, árbol específico; área de sección variable Rigidez, longitud, radio específico exterior; espesor de pared variable Rigidez, longitud, espesor de pared específica, radio exterior variable	 $G^{\frac{1}{2}}/\rho$ G/ρ $G^{\frac{1}{3}}/\rho$
Viga (carga – flexión) Rigidez, longitud, forma específica; sección de área libre Rigidez, longitud, altura específica; ancho variable Rigidez, longitud, ancho específico, altura variable	 $E^{\frac{1}{2}}/\rho$ E/ρ $E^{\frac{1}{3}}/\rho$
Columna (carga – compresión, fallo por deformación elástica) Carga de pandeo, longitud, forma específica, área de sección variable	$E^{\frac{1}{2}}/\rho$
Panel (placa plana, carga – flexión) Rigidez, longitud, ancho específico, espesor variable	$E^{\frac{1}{3}}/\rho$
Placa (placa plana, comprensión en placa, fallo en deformación) Carga de fallo, longitud y ancho específico, espesor variable	$E^{\frac{1}{3}}/\rho$
Cilindro con presión interna Distorsión elástica, presión y radio específico, pared de espesor variable	E/ρ
Cuerpo esférico con presión interna Distorsión elástica, presión y radio específico, pared de espesor variable	$E/(I-\upsilon)\rho$

Fuente: *ASBHY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 509*

Tabla A.5. Esfuerzo - Límite de diseño en masa mínima

Función y limitación	Maximizar
Barra (carga – tracción) Rigidez, Longitud específica; área de sección variable	σ_f / ρ
Árbol (carga – torsión) Carga, longitud, árbol específico; área de sección variable Carga, longitud, radio específico exterior; espesor de pared variable Carga, longitud, espesor de pared específica, radio exterior variable	$\sigma_f^{\frac{2}{3}} / \rho$ σ_f / ρ $\sigma_f^{\frac{1}{2}} / \rho$
Viga (carga – flexión) Carga, longitud, forma específica; sección de área libre Carga, longitud, altura específica; ancho variable Carga, longitud, ancho específico, altura variable	$\sigma_f^{\frac{2}{3}} / \rho$ σ_f / ρ $\sigma_f^{\frac{1}{2}} / \rho$
Columna (carga – compresión, fallo por deformación elástica) Carga de pandeo, longitud, forma específica, área de sección variable	σ_f / ρ
Panel (placa plana, carga – flexión) Carga, longitud, ancho específico, espesor variable	$\sigma_f^{\frac{1}{2}} / \rho$
Placa (placa plana, comprensión en placa, fallo en deformación) Carga de fallo, longitud y ancho específico, espesor variable	$\sigma_f^{\frac{1}{2}} / \rho$
Cilindro con presión interna Distorsión elástica, presión y radio específico, pared de espesor variable	σ_f / ρ
Cuerpo esférico con presión interna Distorsión elástica, presión y radio específico, pared de espesor variable	σ_f / ρ
Volante, discos rotatorios Máxima energía almacenado por unidad de volumen, dando velocidad Máxima energía almacenado por unidad de masa, sin fallo	σ σ_f / ρ

Fuente: *ASBHY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 510*

Tabla A.6. Esfuerzo - Límite de diseño: muelle, bisagra, etc., para mayor potencia

Función y limitación	Maximizar
Resortes Máximo almacenamiento de energía elástica por unidad de volumen, no fallas Máximo almacenamiento de energía elástica por unidad de masa, no fallas	σ_f^2 / E $\sigma_f^2 / E\rho$
Bisagras elásticas Radios de Curvatura para ser minimizados (máxima flexibilidad con falla)	σ_f^2 / E
Soporte de cuchillas, pivotes Área de contacto mínimo, máxima carga de soporte	$\sigma_f^3 / E^2 and\ H$
Compresión de sellos y juntas elásticas Máxima conformabilidad, límite en presión de contacto	$\sigma_f^{\frac{3}{2}} / E\ and\ I / E$
Diagramas Máxima deformación hasta una presión específica o fuerza	$\sigma_f^{\frac{3}{2}} / E$
Tambores rotatorios y centrífugas Velocidad angular máxima; radios fijos; espesor de pared variable	σ_f / ρ

Fuente: *ASBHY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 510*

Tabla A.7. Vibración - Límite de diseño

Función y limitación	Maximizar
Barra, columnas Frecuencia de vibración longitudinal máxima	E / ρ
Vigas , todas las dimensiones prescritas Frecuencia de vibración de flexión máxima	E / ρ
Vigas, longitud y rigidez prescrita Frecuencia de vibración de flexión máxima	$E^{\frac{1}{2}} / \rho$
Paneles, todas las dimensiones prescritas Frecuencia de vibración de flexión máxima	E / ρ
Paneles, longitud, ancho y rigidez prescrita Frecuencia de vibración de flexión máxima	$E^{\frac{1}{3}} / \rho$
Barras, columnas, vigas, paneles, rigidez prescrita Excitación longitudinal mínima de manejo externo, barras Excitación flexión mínima de manejo externo, barras, vigas Excitación flexión mínima de manejo externo, paneles	$\eta E / \rho$ $\eta E^{\frac{1}{2}} / \rho$ $\eta E^{\frac{1}{3}} / \rho$

Fuente: *ASBHY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 511*

Tabla A.8. Averías Tolerantes – Diseño

Función y limitación	Maximizar
Barras (pieza - tracción) Máximo defecto de tolerancias y esfuerzo, diseño de carga controlada Máximo defecto de tolerancias y esfuerzo, control de desplazamiento Máximo defecto de tolerancias y esfuerzo, control – energía	K_{IC} and σ_f K_{IC}/E and σ_f K_{IC}^2 and $/E\sigma_f$
Árbol (cargar - torción) Máximo defecto de tolerancias y esfuerzo, diseño de carga controlada Máximo defecto de tolerancias y esfuerzo, control de desplazamiento Máximo defecto de tolerancias y esfuerzo, control - energía	K_{IC} and σ_f K_{IC}/E and σ_f K_{IC}^2 and $/E\sigma_f$
Vigas (cargar – flexión) Máximo defecto de tolerancias y esfuerzo, diseño de carga controlada Máximo defecto de tolerancias y esfuerzo, control de desplazamiento Máximo defecto de tolerancias y esfuerzo, control - energía	K_{IC} and σ_f K_{IC}/E and σ_f K_{IC}^2 and $/E\sigma_f$
Recipientes de presión Fluencia antes de la ruptura Fuga antes de la ruptura	K_{IC}/σ_f K_{IC}^2/σ_f

Fuente: *ASBHY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 511*

Tabla B.6. Diseño Electro – mecánico

Función y limitación	Maximizar
Barras conductoras Mínima duración – consto, conductor de corriente alto	$I/\rho e\rho C_m$
Electro – bobinado magnético Máximo pequeño – pulso campo, no fallos mecánicos Máximo campo y pulso – longitud, límite en temperatura alta	σ_f $C_p\rho/\rho e$
Bobinado, alto – velocidad eléctrica de motor Velocidad rotacional máxima, no fallo a la fatiga Mínima pérdida óhmica, no fallo a la fatiga	σ_e/ρ_e I/ρ_e
Armadura para revelador Tiempo mínimo de respuesta, no fallo a la fatiga Mínima pérdida óhmica, no fallo a la fatiga	$\sigma_e/E\rho_e$ $\sigma_e^2/E\rho_e$

Fuente: *ASBHY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 512*

Tabla A.9. Diseño térmico y termo – mecánico

Función y limitación	Maximizar
Materiales térmicos de aislamiento Mínima flujo de calor en estado permanente, especificando espesor Mínima temperatura alta especificando tiempo, espesor Consumo de energía total máxima en ciclos térmicos (hornos, etc.,)	I / λ $I / a = \rho C_p / \lambda$ $\sqrt{a} / \lambda = \sqrt{1/ \lambda \rho C_p}$
Materiales térmicos de almacenamiento Máxima energía acumulada/ costo unidad de material (almacenamiento de calor) Máxima energía acumulada, dando temperatura alta y tiempo	C_p / C_m $\lambda / \sqrt{a} = \sqrt{\lambda \rho C_p}$
Dispositivos de presión Distorsión térmica mínima para flujo térmico	λ / a
Choque térmico resistente Cambio máximo en la superficie de temperatura, no fallos	$\sigma_f / E\alpha$
Receptor de calor Máximo flujo térmico por unidad de volumen, expansión limitada Máximo flujo térmico por unidad de masa, expansión limitada	$\lambda / \Delta\alpha$ $\lambda / \rho\Delta\alpha$
Intercambiador de calor Máximo flujo térmico por unidad de área, no bajo en fallos Máximo flujo térmico por unidad de masa, no bajo en fallos	$\lambda\sigma_f$ $\lambda\sigma_f / \rho$

Fuente: *ASBHY Michael. Materials Selection in Mechanical Design. p. 512*