

**METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MATERIALES**  
**Una aproximación desde la técnica y la sensorialidad**

**CAROLINA MEJÍA GÓMEZ**  
**Ing. De Diseño de Producto**  
**Esp. En Diseño de Materiales**

**UNIVERSIDAD EAFIT**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA - MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN**  
**ÁREA DE MECÁNICA APLICADA – ESPECIALIDAD EN DISEÑO DE MATERIALES**  
**MEDELLÍN 2011**



**METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MATERIALES**  
**Una aproximación desde la técnica y la sensorialidad**

**CAROLINA MEJÍA GÓMEZ**

**Asesor**

**Andrés Hernando Valencia**

**M.Sc. en Nuevos Materiales**

**Universidad Pontificia Bolivariana**

**Coasesor**

**Edgar Alexander Ossa**

**PhD en Ingeniería**

**Universidad EAFIT**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA - MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN**

**ÁREA DE MECÁNICA APLICADA – ESPECIALIDAD EN DISEÑO DE MATERIALES**

**MEDELLÍN 2011**



**A mi madre...**

**Quien ha creído en mis proyectos y me ha  
dado siempre su apoyo incondicional.**

**Gracias mamá**

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a mis amigos y familiares, ya que cada uno de ellos fue partícipe de este proyecto, en la medida que compartieron conmigo cada etapa y me entregaron siempre su compañía y solidaridad para generarme confianza y motivación.

Gracias a la Universidad Pontificia Bolivariana, la cual me otorgó el tiempo para desarrollar esta investigación.

Gracias a Andrés Valencia, por el tiempo, la dedicación, y la disponibilidad en cada una de las asesorías. Gracias porque depositó su confianza en mí para hacer posible este proyecto.

Gracias a Alexander Ossa por el apoyo, el acompañamiento y la paciencia que ha tenido durante todo el proceso de mi formación en el posgrado.

Gracias a los docentes de la Especialización en Diseño de Materiales y de la Maestría en Ingeniería, porque me aportaron nuevos conocimientos y siempre tuvieron la disposición para escucharme y resolver mis inquietudes.

## CONTENIDO



<b>Resumen</b>	<b>xiii</b>
<b>Introducción</b>	<b>xiv</b>
<b>Objetivos</b>	<b>xvi</b>
Objetivo general	xvi
Objetivos específicos	xvi
Alcance	xvi
<b>Antecedentes y estado del arte</b>	<b>xvii</b>
<b>Palabras claves</b>	<b>xxviii</b>



<b>CAPÍTULO 1 La ciencia de los materiales en el diseño</b>	<b>1</b>
<b>Introducción</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Clasificación de los materiales</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Materiales metálicos para el diseño</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Materiales cerámicos para el diseño</b>	<b>26</b>
<b>1.4 Materiales poliméricos para el diseño</b>	<b>44</b>
<b>1.5 Materiales híbridos para el diseño</b>	<b>58</b>



<b>CAPÍTULO 2 El comportamiento de los materiales</b>	<b>66</b>
<b>Introducción</b>	<b>67</b>
<b>2.1 Clasificación de propiedades</b>	<b>68</b>
<b>2.2 Propiedades físicas</b>	<b>69</b>
<b>2.3 Propiedades químicas</b>	<b>72</b>
<b>2.4 Propiedades mecánicas</b>	<b>76</b>
<b>2.5 Propiedades térmicas</b>	<b>82</b>
<b>2.6 Propiedades eléctricas</b>	<b>88</b>
<b>2.7 Propiedades ópticas</b>	<b>91</b>
<b>2.8 Propiedades acústicas</b>	<b>95</b>
<b>2.9 Propiedades magnéticas</b>	<b>97</b>



<b>CAPÍTULO 3 Los sentidos en la materialidad</b>	<b>99</b>
<b>Introducción</b>	<b>100</b>
<b>3.1 El sentido de la vista en la materialidad</b>	<b>102</b>
3.1.1 Apariencia formal	105
3.1.1.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la apariencia formal	108
3.1.2 Apariencia lumínica	111
3.1.2.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la apariencia lumínica	115
3.1.3 Apariencia cromática	117
3.1.3.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la apariencia cromática	119
<b>3.2 El sentido del tacto en la materialidad</b>	<b>122</b>
3.2.1 Condición superficial	125

3.2.1.1	Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la condición superficial	128
3.2.2	Temperatura	130
3.2.2.1	Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la temperatura	132
3.2.3	Peso	133
3.2.3.1	Los valores que permiten evaluar las percepciones desde el peso	135
<b>3.3</b>	<b>El sentido del olfato en la materialidad</b>	<b>137</b>
3.3.1	Olor	139
3.3.1.1	Los valores que permiten evaluar las percepciones desde el olor	140
<b>3.4</b>	<b>El sentido del gusto en la materialidad</b>	<b>142</b>
3.4.1	Sabor	144
3.4.1.1	Los valores que permiten evaluar las percepciones desde el sabor	145
<b>3.5</b>	<b>El sentido de la audición en la materialidad</b>	<b>147</b>
3.5.1	Sonido	150
3.5.1.1	Los valores que permiten evaluar las percepciones desde el sonido	151



<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>Etapas metodológicas para el diseño de materiales con propiedades sensoriales</b>	<b>153</b>
	<b>Introducción</b>	<b>154</b>
<b>4.1</b>	<b>Etapa 1: Identificación de la necesidad funcional</b>	<b>156</b>
4.1.1	Fase 1: Identificación de la necesidad funcional	157
4.1.2	Fase 2: Seleccionar para cada categoría de propiedades el nivel deseado que se espera obtener en el material a diseñar	157
4.1.3	Fase 3: Reconocer las condiciones de diseño impuestas por factores externos al material	162
<b>4.2</b>	<b>Etapa 2: Selección de materiales</b>	<b>165</b>
4.2.1	Fase 1: Identificación de materiales con atributos similares	166
4.2.2	Fase 2: Identificación de la presentación comercial de los materiales seleccionados	166
4.2.3	Fase 3: Selección del esquema de diseño del material a diseñar	168
<b>4.3</b>	<b>Etapa 3: Predicción del comportamiento de los materiales</b>	<b>170</b>
4.3.1	Fase 1: Interpretar el comportamiento del material	171
<b>4.4</b>	<b>Etapa 4: Proceso de materialización</b>	<b>177</b>
4.4.1	Fase 1: Establecer la presentación formal final del material	178
4.4.2	Fase 2: Selección de procesos productivos	181
4.4.3	Fase 3: Obtención de muestras y regulación del proceso	182
<b>4.5</b>	<b>Etapa 5: Caracterización del material</b>	<b>183</b>
4.5.1	Fase 1: Identificación de las técnicas de caracterización	184

4.5.2	Fase 2: Resultados y discusión	191
-------	--------------------------------	-----



**CAPÍTULO 5 Caso de estudio. Implementación de la metodología para el diseño de materiales con propiedades metafísicas 192**

	<b>Introducción</b>	<b>193</b>
<b>4.1</b>	<b>Etapa 1: Identificación de la necesidad funcional</b>	<b>194</b>
4.1.1	Fase 1: Identificación de la necesidad funcional	194
4.1.2	Fase 2: Seleccionar para cada categoría de propiedades el nivel deseado que se espera obtener en el material a diseñar	194
4.1.3	Fase 3: Reconocer las condiciones de diseño impuestas por factores externos al material	196
<b>4.2</b>	<b>Etapa 2: Selección de materiales</b>	<b>198</b>
4.2.2	Fase 2: Identificación de la presentación comercial de los materiales seleccionados	198
4.2.3	Fase 3: Selección del esquema de diseño del material a diseñar	200
<b>4.3</b>	<b>Etapa 3: Predicción del comportamiento de los materiales</b>	<b>201</b>
4.3.1	Fase 1: Interpretar el comportamiento del material	201
<b>4.4</b>	<b>Etapa 4: Proceso de materialización</b>	<b>204</b>
4.4.1	Fase 1: Establecer la presentación formal final del material	204
4.4.2	Fase 2: Selección de procesos productivos	206
4.4.3	Fase 3: Obtención de muestras y regulación del proceso	206
<b>4.5</b>	<b>Etapa 5: Caracterización del material</b>	<b>216</b>
4.5.1	Fase 1: Identificación de las técnicas de caracterización	216
4.5.2	Fase 2: Resultados y discusión	224



<b>Conclusiones y comentarios finales</b>	<b>226</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>227</b>

## LISTA DE TABLAS CAPÍTULO 1

Tabla 1: Clasificación de los materiales	3
Tabla 2: Elementos de aleación y sus efectos en el acero	10
Tabla 3: Composición química y designación de los aceros comunes AISI	11
Tabla 4: Composición química y designación de los aceros comunes AISI-SAE	11
Tabla 5: Convenciones para el primer dígito de las aleaciones de acero	11
Tabla 6: Composición química de las fundiciones de hierro	13
Tabla 7: Convenciones para las aleaciones de aluminio forjadas y fundidas	15
Tabla 8: Letras clave usadas para identificar los elementos de aleación del magnesio	16
Tabla 9: Convenciones para las aleaciones de magnesio trabajadas, fundidas y forjadas	16
Tabla 10: Convenciones para las aleaciones de titanio	17
Tabla 11: Convenciones para las aleaciones de zinc	18
Tabla 12: Convenciones para las aleaciones de níquel	18
Tabla 13: Convenciones para las aleaciones de cobre	20
Tabla 14: Colores del oro aleado	22
Tabla 15: Cerámicas en función de su composición	28
Tabla 16: Cerámicas en función de su estructura	29
Tabla 17: Cerámicas en función de sus productos	30
Tabla 18: Cerámicas en función de su desempeño	31
Tabla 19: Elementos comunes de la corteza terrestre	32
Tabla 20: Resumen de productos cerámicos tradicionales	34
Tabla 21: Clasificación de las cerámicas estructurales	36
Tabla 22: Temperaturas críticas de algunas cerámicas superconductoras de altas temperaturas	37
Tabla 23: Aplicaciones de los superconductores	37
Tabla 24: Materiales ferroeléctricos	37
Tabla 25: Composición química de productos comerciales fabricados en vidrio	40
Tabla 26: Vidrios comerciales en función de su dureza y características ópticas	40
Tabla 27: Composición química de los vidrios - cerámicos	42
Tabla 28: Nombres comerciales de polímeros termoplásticos	52
Tabla 29: Nombres comerciales de las resinas termoestables	54
Tabla 30: Nombres comerciales de los cauchos o elastómeros	57
Tabla 31: Esquemas de los compuestos	61
Tabla 32: Esquemas de los sándwiches	62
Tabla 33: Esquema de los enrejados	63
Tabla 34: Esquema de los segmentos	64
Tabla 35: Esquema de los laminados	65
Tabla 36: Esquema de las mezclas por fases	65

## LISTA DE TABLAS CAPÍTULO 2

Tabla 1: Densidades de algunas sustancias	70
Tabla 2: Principales clases de soluciones	70
Tabla 3: Coeficiente de rozamiento para algunos materiales	71
Tabla 4: Metales tóxicos en altas concentraciones	73
Tabla 5: Tipos generales de reacciones químicas	74
Tabla 6: Acidez de algunas sustancias	75
Tabla 7: Conductividad térmica de varios materiales	85
Tabla 8: Calores específicos de varios materiales	86
Tabla 9: Coeficiente de expansión térmica para varios materiales	87
Tabla 10: Conductividad eléctrica para varios materiales	90

## LISTA DE TABLAS CAPÍTULO 3

Tabla 1: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia formal desde lo dimensional	109
Tabla 2: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia formal desde lo estructural	110
Tabla 3: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia lumínica desde la misma apariencia	116
Tabla 4: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia lumínica desde la fotoluminiscencia	117
Tabla 5: Compuestos para obtener pigmentos de colores	119
Tabla 6: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia cromática desde los matices	120
Tabla 7: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia cromática desde el tono	120
Tabla 8: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia cromática desde la saturación	121
Tabla 9: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la condición superficial desde la textura	128
Tabla 10: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la condición superficial desde la dureza	129
Tabla 11: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la condición superficial desde la fricción	129
Tabla 12: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la condición superficial desde la humedad	130
Tabla 13: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la temperatura desde la misma temperatura	133
Tabla 14: Los valores que permiten evaluar las percepciones del peso desde el mismo peso	136
Tabla 15: Los valores que permiten evaluar las percepciones del olor desde el aroma	141
Tabla 16: Los valores que permiten evaluar las percepciones del olor desde la intensidad	141
Tabla 17: Los valores que permiten evaluar las percepciones del sabor desde el mismo sabor	145
Tabla 18: Los valores que permiten evaluar las percepciones del sabor desde la intensidad	146
Tabla 19: Los valores que permiten evaluar las percepciones del sonido desde el tono	152
Tabla 20: Los valores que permiten evaluar las percepciones del sonido desde la duración	152

## LISTA DE TABLAS CAPÍTULO 4

Tabla 1: Funcionalidades técnicas deseadas en el material a diseñar	158
Tabla 2: Funcionalidades sensoriales deseadas en el material a diseñar	161
Tabla 3: Posibles contextos que condicionan el diseño del material	163
Tabla 4: Materiales condicionados por el contexto	164
Tabla 5: Materiales seleccionados con sus respectivas presentaciones comerciales	167
Tabla 6: Morfologías de las presentaciones comerciales que determinan los esquemas de diseño	168
Tabla 7: Funcionalidades sensoriales posibles de acuerdo al esquema de diseño seleccionado	172
Tabla 8: Funcionalidades técnicas posibles de acuerdo al esquema de diseño seleccionado	174
Tabla 9: Selección de la forma final del material a partir de técnicas experimentales y artesanales	179
Tabla 10: Selección de la forma final del material a partir de técnicas de transformación tecnológicas	180
Tabla 11: Información requerida para la caracterización de las propiedades técnicas	185
Tabla 12: Información requerida para la caracterización de las propiedades sensoriales	185
Tabla 13: Análisis comparativo entre las funcionalidades sensoriales posibles y las funcionalidades reales	186
Tabla 14: Análisis comparativo entre las funcionalidades técnicas posibles y las funcionalidades reales	189

## LISTA DE TABLAS CAPÍTULO 5

Tabla 2: Funcionalidades sensoriales deseadas en el material a diseñar	195
Tabla 3: Posibles contextos que condicionan el diseño del material	197
Tabla 5: Materiales seleccionados con sus respectivas presentaciones comerciales	198
Tabla 6: Morfologías de las presentaciones comerciales que determinan los esquemas de diseño	200
Tabla 7: Funcionalidades sensoriales posibles de acuerdo al esquema de diseño seleccionado	202
Tabla 9: Selección de la forma final del material a partir de técnicas experimentales y artesanales	205
Tabla 12: Información requerida para la caracterización de las propiedades sensoriales	216
Tabla 13: Análisis comparativo entre las funcionalidades posibles y las funcionalidades reales	220

## LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 1

Figura 1: Estructura Cristalina de un material	5
Figura 2: Estructura amorfa de un material	5
Figura 3: Estructura policristalina de un material	6
Figura 4: Superficie de un material metálico	8
Figura 5: Superficie de un material cerámico	27
Figura 6: Superficie de un material polimérico	45
Figura 7: Materiales utilizados en el proceso de diseño de materiales híbridos	59
Figura 8: Posibilidades de hibridación	60

## LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 2

Figura 1: Resistencia a la compresión	77
Figura 2: Resistencia a la tracción	77
Figura 3: Resistencia cortante	78
Figura 4: Diagrama Esfuerzo Vs Deformación	79
Figura 5: Medición de dureza	79
Figura 6: Energía de resiliencia y tenacidad en los materiales	80
Figura 7: Comportamiento dúctil en los materiales	80
Figura 8: Diagrama de fatiga de los materiales	81
Figura 9: Temperatura de fusión de diversos metales	83
Figura 10: Relación de calor Vs temperatura de fusión y calor Vs temperatura de transición vítrea	84
Figura 11: Índice de refracción en los materiales	92
Figura 12: Translucidez en los materiales	93
Figura 13: Propiedades ópticas de los materiales	94
Figura 14: Propiedades acústicas de los materiales	96

### LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 3

Figura 1: Categorías identificadas en los materiales a través de la sensorialidad	101
Figura 2: Anatomía del globo ocular	103
Figura 3: Cantidad de luz regulada a través de la pupila	104
Figura 4: Espectro visible por el ojo humano	104
Figura 5: Comportamiento del ojo comparado con una cámara fotográfica análoga	105
Figura 6: Elementos químicos de un material dispuestos en el espacio para generar una forma interna en el material	106
Figura 7: Presentación formal de un material a nivel externo e interno	106
Figura 8: Forma externa del material en estado sólido	107
Figura 9: Forma externa del material en estado líquido	107
Figura 10: Forma externa del material en estado de gel	108
Figura 11: Materiales que permiten el paso de la luz a través de ellos	111
Figura 12: Materiales que permiten el paso de la luz a través de ellos, pero transmiten una imagen difusa (	112
Figura 13: Materiales que no permiten el paso de la luz a través de ellos	112
Figura 14: Materiales emisores de luz	113
Figura 15: Materiales que son emisores de luz al ser molidos, rayados o frotados	113
Figura 16: Materiales que a altas temperaturas emiten luz visible	114
Figura 17: Materiales brillantes	115
Figura 18: Materiales incoloros	118
Figura 19: Materiales con color	118
Figura 20: Materiales con propiedades conocidas como pleocroísmo	119
Figura 21: Anatomía de la piel	123
Figura 22: Receptores sensoriales de la piel	125
Figura 23: Superficie de un material formado por múltiples capas, donde cada una de ellas cumple una función específica	126
Figura 24: Superficies que le otorgan características estéticas al material	127
Figura 25: Proceso productivo para alterar la capa superficial de un material	127
Figura 26: Comportamiento de los átomos a altas temperaturas	130
Figura 27: Comportamiento de los átomos a bajas temperaturas	131
Figura 28: La conducción térmica a través de un material sólido se da desde las zonas con altas temperaturas, hacia las de baja temperatura	132
Figura 29: Reducción de dimensiones de un material sin alterar la forma	134
Figura 30: Generación de pliegues en un material	134
Figura 31: Generación de perforaciones en un material	135
Figura 32: Anatomía de la nariz	138
Figura 33: Prisma de olores propuesto por Henning en 1916	139
Figura 34: Anatomía de la boca	143
Figura 35: Regiones del gusto ubicadas en la lengua	144
Figura 36: Anatomía del oído	148
Figura 37: Cada una de las partes que conforman una onda	149
Figura 38: Respuesta de una onda sonora dependiendo del medio de propagación	149
Figura 39: Lámina metálica con buenas características de acondicionamiento acústico	150
Figura 40: Lámina espumada con buenas características de absorción acústica	151

## RESUMEN

En la actualidad existe una carencia de referentes teóricos y metodológicos que permitan al diseñador industrial experimentar en el diseño de nuevos materiales, ya que las existentes son asequibles en su mayoría a profesionales de las ciencias exactas y la ingeniería, limitando el acceso a ese conocimiento para las disciplinas creativas y artísticas tanto por el lenguaje como por la tecnología que se sugiere para sintetizar nuevos materiales. Se ha encontrado que en la actualidad no es posible acceder a una propuesta de procedimiento con el cual se pueda diseñar un nuevo material a partir de la potencialización de sus propiedades sensoriales. Las propuestas existentes se enfocan sobre todo a las propiedades técnicas y se alejan desde el lenguaje y desde los procedimientos de síntesis y fabricación de los materiales, de las disciplinas creativas como el diseño industrial o la arquitectura.

Con base en lo anterior, se plantea una propuesta metodológica sistemática para el diseño de nuevos materiales que posibilita potenciar sus propiedades sensoriales. Esta iniciativa permite un acercamiento detallado a cada una de las etapas necesarias para que un profesional de las disciplinas creativas pueda, de manera cercana a su lenguaje y a su modelo de trabajo proyectual, encontrar respuestas materiales a las necesidades sensoriales de sus proyectos. Además, el esquema que se presenta puede ser utilizado como una herramienta didáctica para procesos de formación en el área de los materiales tanto a nivel de pregrado como de posgrado. Para esto se realiza una experimentación con estudiantes de tercer semestre de la Facultad de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de Materiales para el diseño 1.

El esquema se basa en un modelo comparativo que busca que las propiedades deseadas por el diseñador se ajusten inicialmente a un conjunto posible de atributos que la ciencia de los materiales y los procesos de fabricación viabilicen, para luego, una vez desarrollado el proceso experimental y la debida caracterización, se alcance un perfil de funcionamiento real para el material. Este proceso se plantea como iterativo, con lo que se quiere significar que si al final del proceso, las diferencias entre lo que se deseaba y lo que realmente se obtuvo no satisfacen los objetivos del proyecto, se pueda usar la información recolectada durante el proceso para comenzar de nuevo y ajustar la metodología.

Para comprobar la metodología planteada en este trabajo, se realizó un estudio de caso. Allí se evidenció que con un soporte teórico sobre la ciencia de los materiales, tablas de información y matrices de evaluación que apoyen la metodología, el diseñador estará en capacidad de crear y transformar materias primas existentes en materiales con nuevas funciones y prestaciones tal y como se muestra en el capítulo 5. En esta fase del proyecto, estudiantes de Diseño Industrial logran obtener muestras físicas de materiales a partir de residuos sólidos embebidos homogéneamente con el yeso.

## INTRODUCCIÓN

La historia de los materiales se remonta en los orígenes de la humanidad. En la prehistoria, hace un millón de años aproximadamente se divide en tres épocas importantes: Edad de Piedra, Edad de Bronce y la Edad de Hierro. En la Edad de Piedra (Paleolítico) el hombre utilizó los materiales de la naturaleza como la piedra, la madera, los huesos, el cuero y las pieles para la construcción de viviendas, diseño de vestuario, instrumentos y armas para la supervivencia.

En la época del Neolítico el hombre no solo utilizaba lo que encontraba en la naturaleza, también comenzó a transformarlo, no solo por supervivencia, sino también por la necesidad de estabilizarse y convertirse en un individuo sedentario. La agricultura, la ganadería y el transporte motivaron las modificaciones formales de la piedra, la madera, las pieles y los huesos y al mismo tiempo las modificaciones químicas de los materiales de la naturaleza.

El fuego fue el punto de partida para el avance en el área de los materiales. Es así como la cerámica se convierte en el primer material diseñado por el hombre donde tiene total control químico en su procesamiento. La obtención de este material estaba basado en necesidades funcionales específicas: calentar, contener y conservar. A partir diseño de la cerámica se obtuvo el vidrio, el cual también fue creado a partir de procesos controlados.

Posterior a la Edad de Piedra llega la Edad de los metales (Bronce y Hierro) y es en este momento donde el hombre aprende lo que hoy se conoce como Metalurgia, que es la capacidad de extraer minerales y metales para ser procesados, transformados y finalmente obtener nuevos materiales, como por ejemplo el Bronce, el cual fue creado por casualidad calentando Cobre y Estaño, obteniendo un metal más duro, con alta resistencia mecánica y con una temperatura de fusión menor a la del Cobre. La experimentación que surgió hace más de 7000 años hoy se convierte en una investigación exhaustiva, metodológica y científica y gracias esto surgen ciencias como la química y la física que han convertido la ciencia de los materiales en objeto de estudio [R.Fiesch, 1984]

En la actualidad el desarrollo tecnológico permite crear materiales con funciones específicas con un trabajo teórico-práctico obteniendo materiales con propiedades físicas, químicas, mecánicas, ópticas, magnéticas, eléctricas planteadas como requerimiento inicial. En las disciplinas del Diseño, los materiales son utilizados para ser transformados y así crear productos que integren las necesidades de un usuario, un mercado o un contexto, más no son disciplinas que se dedican al diseño de materiales que posteriormente puedan hacer lo mismo que los productos: satisfacer las necesidades de un usuario, un mercado o un contexto determinado.

Esta metodología que se presenta de forma descriptiva, se basa en el proceso de formación de la Facultad de Diseño de la UPB en pregrado de diseño industrial que se proyecta en el área de fundamentación conceptual, dentro del componente Morfo-Productivo, el cual da las herramientas en el proceso de materialización de los objetos.

Si bien existen acercamientos a metodologías para el diseño de materiales [C. Monroy, A.A. Skordos, M.P.F Sutcliffe, 2007] [M.F. Ashby, Y. Bréchet, 2003] y procesos de selección de materiales [Y. Deng, K.L. Edwards, 2005] [E. Karana, 2007] [M.F. Ashby, Y. Bréchet, D. Cebon, L. Salvo, 2003] [K.L. Edwards, 2005] [K.L. Edwards and Y. Deng, 2006] este trabajo plantea una metodología que pretende ser una guía práctica no solo para las disciplinas del diseño y afines. Aclarando que sin importar la función, el requerimiento o los atributos que deba tener el diseño final del material, deben existir unos pasos metodológicos que rijan el proceso.

Dentro de la experiencia académica se ha trabajado con los estudiantes del tercer semestre que han cursado la asignatura “Materiales para el diseño 1” y que están en capacidad de identificar las propiedades de un material y su relación con las necesidades de diseño. Y adicionalmente pueden introducir innovaciones en el diseño de un producto a partir de los materiales. Con ellos se ha ratificado que para el diseño de materiales se requiere una estructura sistemática que les permita tener un punto de partida para el diseño de materiales.

Originalmente los laboratorios que se realizan con los estudiantes tienen el objetivo de diseñar materiales híbridos entre ellos sándwiches y compuestos [M.F. Ashby, 2005], pero para obtener resultados no solo se debe dictar una cátedra teórica, también se debe generar el conocimiento a partir de ejercicios donde los estudiantes puedan comprobar que la teoría tiene aplicación material y esto se logra dando unos parámetros de trabajo. Esta es la razón por la que se describe una metodología para el diseño de materiales (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2010).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Desarrollar una metodología para el diseño de materiales que permita controlar el desempeño de los atributos técnicos y sensoriales de los materiales.

### **Objetivos Específicos**

1. Establecer las etapas para el diseño de materiales.
2. Estandarizar cada una de las etapas para el diseño de materiales.
3. Probar el modelo a partir de un estudio de caso.

### **Alcance**

Desde el análisis de las necesidades particulares de las disciplinas creativas en lo que respecta a los materiales como insumo de diseño, se espera plantear una metodología para el desarrollo de materiales controlando las propiedades técnicas y sensoriales, con base en un esquema que sea acorde con el proceso de diseño.

## **ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

La investigación que se llevará a cabo busca identificar investigaciones previas o actuales donde el tema principal sea la metodología para el diseño de materiales con propiedades metafísicas. En el transcurso de la investigación se encontraron estudios que cumplen con algunos de los temas que se requieren, como por ejemplo, estudios que hablan sobre cómo los materiales influyen en el diseño de productos industriales, otros estudios que discuten el diseño de materiales como una opción viable para obtener una serie de propiedades deseadas o requeridas a partir de la unión de diferentes materiales y también se encontraron investigaciones que analizan los atributos sensoriales de los materiales dentro del producto, para identificar el significado que tienen en conjunto desde la perspectiva del usuario.

En el artículo “The role of materials identification and selection in engineering design” (Deng & Edwards, 2005) se hace referencia a la importancia que tienen los materiales en las primeras etapas de diseño. Para esto se deben tener en cuenta dos fases: LA IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES que es usada para referirse a los materiales utilizados en la actividad del diseño y finalmente cuando la estructura física para un diseño ha sido determinada, los materiales con propiedades específicas deben ser seleccionados de un grupo de candidatos, lo que se refiere a la SELECCIÓN DE MATERIALES. Los autores plantean un diagrama de flujo que permite ver la relación de los materiales y el proceso de diseño (Ver figura 1):

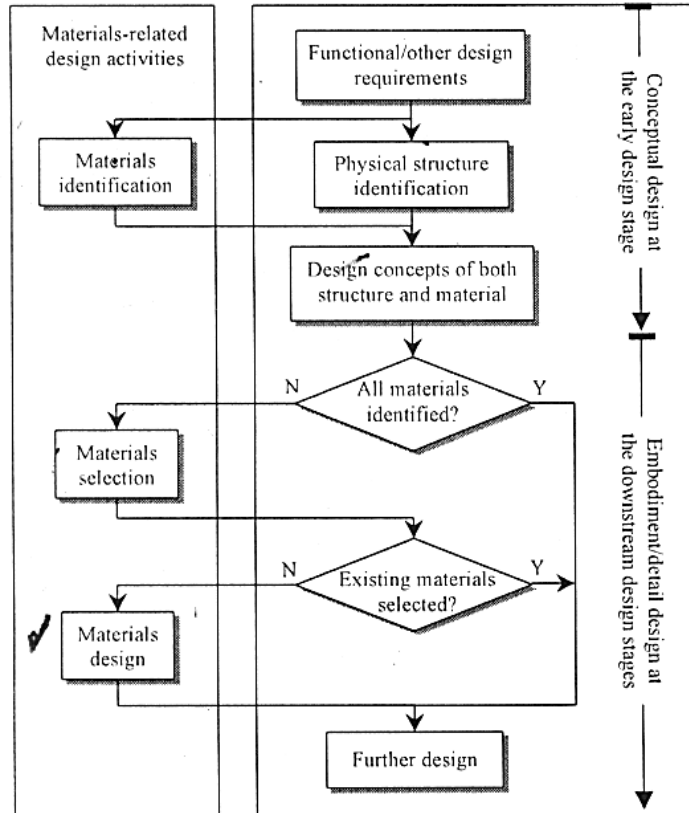


Figura 1: Diagrama de flujo que relaciona los materiales con las actividades de diseño (Deng & Edwards, The role of materials identification and selection in engineering design., 2005).

“Product designers information needs in materials selection” (Van Kestern, 2008) tiene como objetivo determinar los alcances y las necesidades de los diseñadores para un proceso eficiente en la selección de materiales. Cuatro necesidades fueron encontradas:

La necesidad de tener información que se pueda comparar, la necesidad de tener información relacionada con los problemas del producto, la necesidad de tener información sobre múltiples niveles de detalle y la necesidad de tener muestras de materiales. El trabajo que realizó el autor con los diseñadores se presenta como casos de estudio. Algunos de ellos son:

### CASO DE ESTUDIO 1

**PROBLEMA:** Seleccionar un material dentro de la gran gama de materiales existentes.

**CÓMO SOLUCIONAR PARTE DEL PROBLEMA:** Respondiendo las siguientes preguntas:

- a) Cuáles son las aplicaciones?
- b)Cuál es su precio?
- c) Cuáles son las características técnicas?
- d) Cuáles son las características estéticas?

### **SOLUCIÓN A LAS PREGUNTAS:**

- a) Comparar materiales existentes
- b) Identificar los materiales que cumplen con los requerimientos del producto.

**SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LOS PRODUCTOS DE DISEÑO:** Para la selección del material se plantean los siguientes métodos (Ashby & Johnson, 2002): Análisis, síntesis, similitud e inspiración. Estos cuatro métodos de selección se utilizan con varias finalidades, algunas de ellas son:

- a) La fabricación de los productos (Identificando las propiedades físicas de los materiales a partir de sus características técnicas).
- b) La generación de carácter a los productos (Identificando la funcionalidad-utilidad-satisfacción del producto a desarrollar)
- c) La generación de características estéticas a los productos (Identificando las propiedades metafísicas o sensoriales de los materiales)
- d) La generación de personalidad a los productos (Identificando la estética-asociación-percepción del producto a desarrollar)

### **CASO DE ESTUDIO 2**

**PROBLEMA:** Cómo los diseñadores obtienen información sobre los diferentes materiales.

**CÓMO SOLUCIONAR PARTE DEL PROBLEMA:** Identificar los recursos de información utilizados por los diseñadores para la selección de materiales. De acuerdo a las necesidades los diseñadores hacen uso de diferentes medios como los que se presentan a continuación:

#### **a. APLICACIONES GENERALES DE LOS MATERIALES**

- EXPERIENCIA: Conocimiento de los clientes, colegas, expertos y proyectos.
- PRUEBAS: Pruebas a los materiales para conocer el desempeño de las propiedades.
- EJEMPLO DE PRODUCTOS: Trasladar aplicación de los materiales de algunos productos a los nuevos diseños.

#### **b. RECURSOS INDEPENDIENTES**

- BASES DE DATOS: Empresas de software, páginas amarillas, internet.
- MUESTRAS DE COLECCIONES: Brochures, partes de productos, productos, muestras de materiales con propiedades metafísicas.
- LIBROS-EXHIBICIONES: Libros de materiales, exhibiciones, seminarios que no dan soluciones inmediatas pero dan experiencia.

#### **c. PROVEEDOR DE MATERIALES**

- EN PERSONA: Empresas que asesoran para la selección de materiales.
- INTERNET: Entrevistas on-line con proveedores, bases de datos que tienen los proveedores en la web.
- MUESTRAS-BROCHURES: Los proveedores envían los nuevos desarrollos por medio de brochures y boletines.
- EVENTOS COMERCIALES-REVISTAS: Los diseñadores buscan salones de exhibición para encontrar proveedores y nuevos desarrollos. Las revistas son usadas para futuros proyectos.

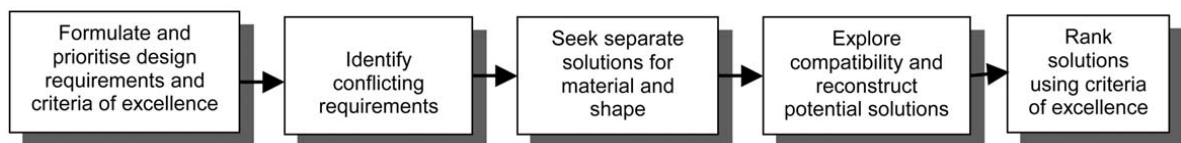
Existen autores que se han dedicado a la búsqueda objetiva del proceso de selección de materiales. En la publicación “Materials selection and design for structural polymers” (Ljungberg, 2003), el autor propone 10 principios para la selección de materiales, los cuales son referenciados por dos trabajos (Dym, 1983) (Kubat & Klason, 1995). Los principios son: Definición de las funciones del producto, especificación de los requerimientos del producto, definición del perfil de propiedades del material, diseño del producto, procesamiento del producto, selección final del material, herramientas de producción para de una serie de muestras, ajuste de herramientas, estandarización de los sistemas de producción y finalmente la ejecución de la manufactura del producto.

Asbhy (Ashby M. , 2000) propone la selección de materiales en el diseño, de acuerdo a la utilidad que tenga el material, sin embargo la utilidad del material no es lo único que se debe identificar para el buen desempeño de un producto. La selección de materiales también es importante para el diseño de materiales, ya que de acuerdo a las propiedades de cada uno de los materiales se puede llegar a un desempeño físico, químico y mecánico en particular y esto se logra si son seleccionados de forma correcta.

El libro de Michael Ashby (Ashby M. , 2005) se ocupa de los aspectos que debe tener el material en un proceso de diseño. Así mismo, propone una metodología que busca ser una guía práctica, no solo para la selección de los materiales, sino también para proceso de manufactura de los mismos.

En conjunto esto sugiere que el comportamiento de los materiales puede ser ampliado mediante la creación de materiales híbridos, los cuales se definen como: “Combinación de dos o más materiales en una geometría y escala predeterminada para optimizar un propósito ingenieril específico” (Ashby & Bréchet, 2003). Para la selección de materiales y el proceso de manufactura, se hace uso de un software conocido como CES EduPack, el cual grafica las propiedades de los materiales de forma interactiva y didáctica, permitiendo la selección de materiales con objetivos de diseño concretos (Granta Design, 2010).

“Designing hybrid materials” (Ashby & Bréchet, 2003) es un trabajo que explora diferentes formas de diseñar materiales híbridos basándose en las cartas de selección de materiales que Ashby propone desde la primera edición de su libro “Materials Selection in Mechanical design” publicado en 1992. Para iniciar con el proceso de diseño de materiales híbridos los autores establecen unos pasos a seguir (Ver figura 2):



**Figura 2: Pasos para el diseño de un material híbrido para cumplir con ciertos requisitos de diseño.**

“Design selection methodology for composite structures” (Monroy Aceves, Skordos, & Sutcliffe, 2007) es un artículo que presenta una metodología para ayudar a los diseñadores a seleccionar una lista o un diseño óptimo de estructuras compuestas frente a un gran número de alternativas, teniendo en cuenta los objetivos y las limitaciones de diseño. Para estructuras compuestas los autores recomiendan a los diseñadores responder las siguientes preguntas: ¿Cuál compuesto se va a usar?, ¿Cuáles fibras se van usar?, ¿Qué resina se va a utilizar?, ¿Cuáles procesos de manufactura se implementarán?, ¿La fabricación será en seco o pre-impregnada (pre-preg)?, ¿La fabricación será unidireccional o en tejido?, ¿Cuántas capas se utilizarán?, ¿Cuáles orientaciones se realizarán en cada capa?

La metodología para diseñar materiales compuestos que se propone en esta investigación es sintetizada por medio de un diagrama de flujo (Ver figura 3):

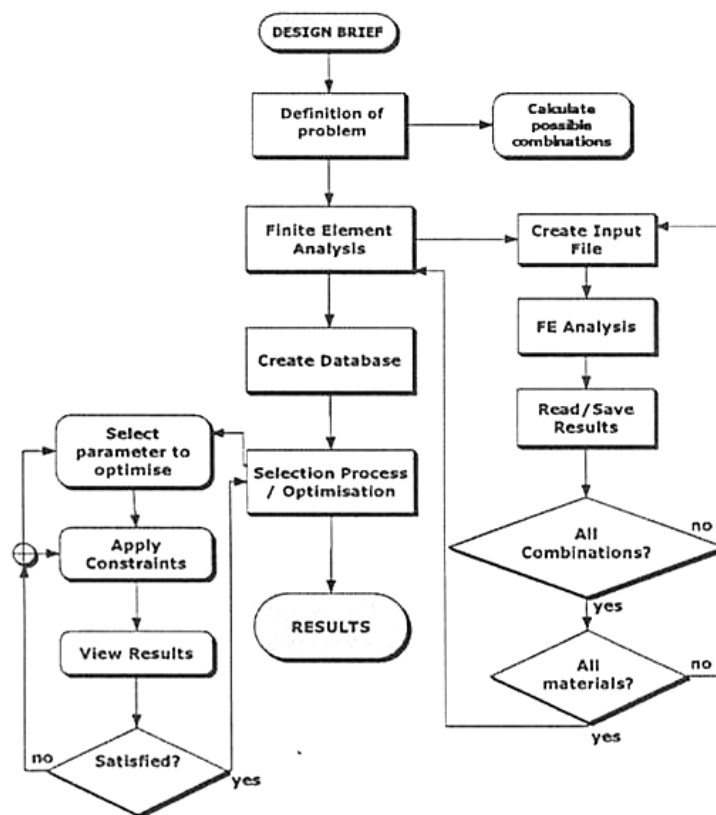


Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología de diseño (Monroy Aceves, Skordos, & Sutcliffe, Design selection methodology for composite structures, 2007)

La metodología también propone considerar la variedad de estructuras compuestas y realizar los cálculos apropiados utilizando el método de elementos finitos, que por sus siglas en inglés se puede reconocer como FEM. El FEM se define como “modelador geométrico, que permite crear sofisticados patrones para análisis de tensiones, temperaturas, pandeo, vibraciones, fluidos, entre otros. El FEM incorpora potentes herramientas para realizar todo tipos de mallados, permite definir materiales, aplicar cargas y condiciones de contorno” (IBERISA, 2001).


Para determinar el desempeño después de ingresar la geometría real y el tipo de laminado, se introducen los denominados INPUTS del material (geometría, capas laminadas, ángulos de orientación, etc.), esta información se trabaja paralelamente con la base de datos del CES EduPack y por último se puede identificar una corta lista de soluciones que son las que mejor responden a los objetivos de diseño.

“Material considerations in product design: a survey on crucial material aspects used by product designers” ( Karana, Hekkert, & Kandachar, 2008) es una investigación que hace énfasis en la selección de materiales desde las características cuantitativas y cualitativas. Teniendo en cuenta que las cualitativas son aquellas que requieren los diseñadores para atribuir significados a los productos a través del material. Uno de los ejemplos que plantean los autores es el siguiente: Connotaciones de los materiales metálicos: frialdad, precisión, durabilidad y resistencia. A partir de estas connotaciones se puede decir que el producto que se fabrique con este material tendrá características de alta tecnología y alto nivel de ingeniería.

“Meanings of materials through sensorial properties and manufacturing processes” es un artículo de los mismos autores mencionados en el párrafo anterior (Karana, Hekkert, & Kandachar, 2009). En este trabajo muestran cómo los materiales tienen diferentes significados en una amplia gama productos y cómo estos significados están directamente relacionados con las propiedades sensoriales de los materiales y los procesos de manufactura. Teniendo en cuenta los procesos de manufactura como un aspecto importante en el momento de darle significados a los atributos de los materiales.

Para poner en práctica la investigación, se consiguieron 25 participantes. Cada uno de ellos tenía que seleccionar un producto donde el material tuviera gran influencia en el significado de ese producto. Los significados dados por los investigadores eran los siguientes: agresividad, nostalgia, profesionalismo, seducción y lúdica. Luego cada participante debía realizar una evaluación de los materiales de cada uno de los productos que ellos seleccionaron (Ver tabla 1).

Tabla 1: Relación entre los materiales con su significado, sus propiedades y algunos productos ( Karana, Hekkert, & Kandachar, 2008)

MATERIAL MEANING	ASSOCIATED MATERIALS	ASSOCIATED PORPERTIES	PRODUCTS SAMPLES
AGGRESSIVE	Metal (stainless steel) Plastics - Rubber	Rough Hard Cold Dark colors (black) Glossy Material combinations (metal and dark colored plastics)	
NOSTALGIC	Metal (copper, iron, bronze) Natural materials (leather) Bakelite Ceramics Wood	Warm Dark colors (brown)	
PROFESSIONAL	Metal (titanium, stainless steel, silver) Plastics	Smooth Hard Cold Dark colors (black) Matte Semi-transparent Mass-produced Brushed Coated	
SEXY	Glass Plastics Textiles (Satin) Metal glass Plastics	Smooth Hard/soft Cold/warm Light colors (white) Intense colors (crimson) Glossy/matte Semi-transparent	
TOY-LIKE	Plastics (latex, pp, pe) Rubber	Smooth Light Strong (unbreakable) Ductile Primary colors (red, blue, green, yellow) Color combinations Elastic	

Esta evaluación se realizó en tres instancias. La primera era una evaluación verbal por medio de unas entrevistas, la segunda era una evaluación escrita de las propiedades sensoriales y la tercera también era una evaluación escrita de los procesos productivos. Este estudio permitió atribuir significados particulares a algunos materiales. Por ejemplo: Mientras la transparencia y la suavidad comunicaban sensualidad, la dureza y los colores oscuros fueron usados frecuentemente para expresar profesionalismo en los materiales.

“Materials in Products Selection: Tools for Including User-Interaction in Materials Selection” (van Kesteren, Stappers, & de Bruijn, 2007). Los autores en este artículo hablan de cómo la experiencia emocional que generan las propiedades sensoriales de los materiales son igual de importantes que la función del producto. Para seleccionar materiales que tengan este tipo de propiedades puede llegar a ser un proceso difícil, ya que las propiedades sensoriales se analizan a partir de la experimentación subjetiva, creando un obstáculo para los clientes y los diseñadores, ya que los criterios no son lo suficientemente claros para comenzar el trabajo proyectual.

Por esa razón los autores de esta investigación desarrollaron una herramienta para la selección de materiales. Los beneficios que ellos esperan encontrar con esta herramienta son: Facilitarle a los clientes la especificación de los requisitos sensoriales de los materiales en el momento de la interacción del producto con el usuario, lograr un consenso entre los diseñadores y los clientes de los materiales que se van a seleccionar para el desarrollo de un producto y finalmente lograr que los criterios de selección de los materiales se realicen de acuerdo a la interacción del producto con el usuario y de acuerdo a las propiedades sensoriales del material.

Esta herramienta cuenta con imágenes con ejemplos de productos y sus respectivos materiales para ofrecerle al diseñador un set de imágenes de productos que le ayuden a identificar las propiedades sensoriales y así, junto con el cliente, le pueden dar personalidad a los productos (Ver figura 5). Esta herramienta también cuenta con muestras de materiales reales donde se pueden analizar las propiedades metafísicas y técnicas del material (Ver figura 6). La idea de usar las muestras es para la selección del material y formular el perfil del material (Ver figura 7).

Finalmente existe una tercera etapa de la herramienta donde se pueden analizar cuáles son los aspectos sensoriales de los materiales durante las fases de interacción que tiene el producto con un usuario. Para esto se realiza una lista de propiedades sensoriales (Ver figura 8) y una lista de preguntas organizadas de acuerdo las diferentes fases que existen en la interacción del producto con el usuario. Algunas de las preguntas son: ¿Cómo es el primer contacto del usuario con el producto?, ¿Cómo el usuario prueba el producto?, ¿Cómo el usuario transporta el producto?, ¿Cómo el usuario desempaca el producto?, entre otras.

Para cada una de las etapas que plantea la herramienta, la discusión entre el cliente y el diseñador debe culminar con la siguiente pregunta: ¿Cuáles aspectos sensoriales juegan un rol importante? La respuesta a esta pregunta proviene de las propiedades sensoriales del producto seleccionado en antes de llegar a la tercera etapa. El objetivo de esta investigación es demostrar que el uso de la herramienta conocida como “Material in Product Selection” (MiPS)

ayuda a definir el perfil de un material para un nuevo producto en términos de las propiedades sensoriales. Estas propiedades sensoriales pueden ser traducidas posteriormente en propiedades técnicas para lograr que el cliente y el diseñador tengan las mismas expectativas en el desarrollo del nuevo producto.







INTERESTING	OBTRUSIVE	CHILDISH
 <p>MPS - TUDtH</p>	 <p>MPS - TUDtH</p>	 <p>MPS - TUDtH</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• semi-transparent</li> <li>• full of colour</li> <li>• hard</li> </ul> <p>Sample: plastic</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• scattering</li> <li>• gloss</li> <li>• smooth</li> <li>• cold</li> </ul> <p>Sample: metal</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• one material</li> <li>• multiple colours</li> <li>• full of colour</li> <li>• gloss</li> </ul> <p>Sample: wood</p>
SILLY	EASY GOING	UNTIDY
 <p>MPS - TUDtH</p>	 <p>MPS - TUDtH</p>	 <p>MPS - TUDtH</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• transparent</li> <li>• flexible</li> <li>• full of colour</li> <li>• gloss</li> </ul> <p>Sample: plastic</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• full of colour</li> <li>• flexible accents</li> <li>• opaque</li> <li>• glossiness accents</li> </ul> <p>Sample: rubber</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• irregular texture</li> <li>• multiple colours</li> <li>• changeable colour</li> <li>• dull</li> </ul> <p>Sample: paper</p>

Figura 4: Herramienta gráfica (van Kesteren, Stappers, & de Bruijn, Materials in Products Selection: Tools for Including User-Interaction in Materials Selection, 2007)



**Figura 5: Herramienta con muestras físicas (Karana, Hekkert, & Kandachar, 2009)**

<i>Property</i>	<i>Description</i>	<i>Examples</i>
Perceptual (P)	Most subjective; includes perceptions, emotions and associations of materials, brands, or products	Outdoor look, modern, personal, recognizable, fit the target group, natural
Use (U)	All words related to usage	Usability, withstand harsh environment, hygienic
Sensorial (S)	Less subjective; all aspects of materials that can be sensed	Texture, warmth, colour, softness, smoothness, stiffness (Table 3)
Technical (T)	Least subjective; material and manufacturing properties	Scratch resistance, durability, price, suitable for mass production
Materials (M)	Concrete: material names	Plastics, wood, metals

**Figura 6: Herramienta de muestras físicas en la definición del perfil del material (Karana, Hekkert, & Kandachar, 2009)**

<b>Reflection</b>	<b>Pressure</b>	<b>Sound</b>
reflective – not reflective	denting – not denting	muffled – ringing
glossy – matte	soft – hard	low – high pitch
transparent – translucent – opaque	fast – slow dampening	soft – loud
not bright – bright	massive – porous	
rough – smooth		<b>Smell and taste</b>
regular – irregular texture	<b>Manipulation</b>	natural odour – no odour – fragrant
	stiff – flexible	fragrance
<b>Colour</b>	ductile – tough	flavour
hue of colour	brittle – tough	
one colour – many colours	light – heavy	<b>Temperature</b>
colourless – colourful		warm – cold
dark – light	<b>Friction</b>	
durable – faded colour	sticky – not sticky	<b>Light radiation</b>
pattern	dry – wet – oily	low – high light emission
	rough – smooth	

**Figura 7: Herramienta de preguntas en la definición de la lista de propiedades sensoriales del material (Karana, Hekkert, & Kandachar, 2009)**

El estado del arte del proyecto indica que el tema metodología para el diseño de materiales con propiedades metafísicas aún no ha sido explorado ni evaluado en su totalidad, lo que garantiza que la investigación que se desarrollará en la Maestría aportará un nuevo conocimiento y se fundamentará en conocimientos existentes como los que han sido mencionados en este capítulo.

## **PALABRAS CLAVES**

### **MATERIAL**

Los materiales son sustancias formadas por más de dos elementos químicos, o más comúnmente por compuestos químicos. Los materiales se caracterizan por tener propiedades que los hacen útiles para diferentes funciones. Estas propiedades pueden ser químicas, físicas, magnéticas, ópticas, metafísicas, etc.

### **MATERIA PRIMA**

Es la presentación morfológica comercial en la cual se adquieren los materiales.

### **PROPIEDADES TÉCNICAS**

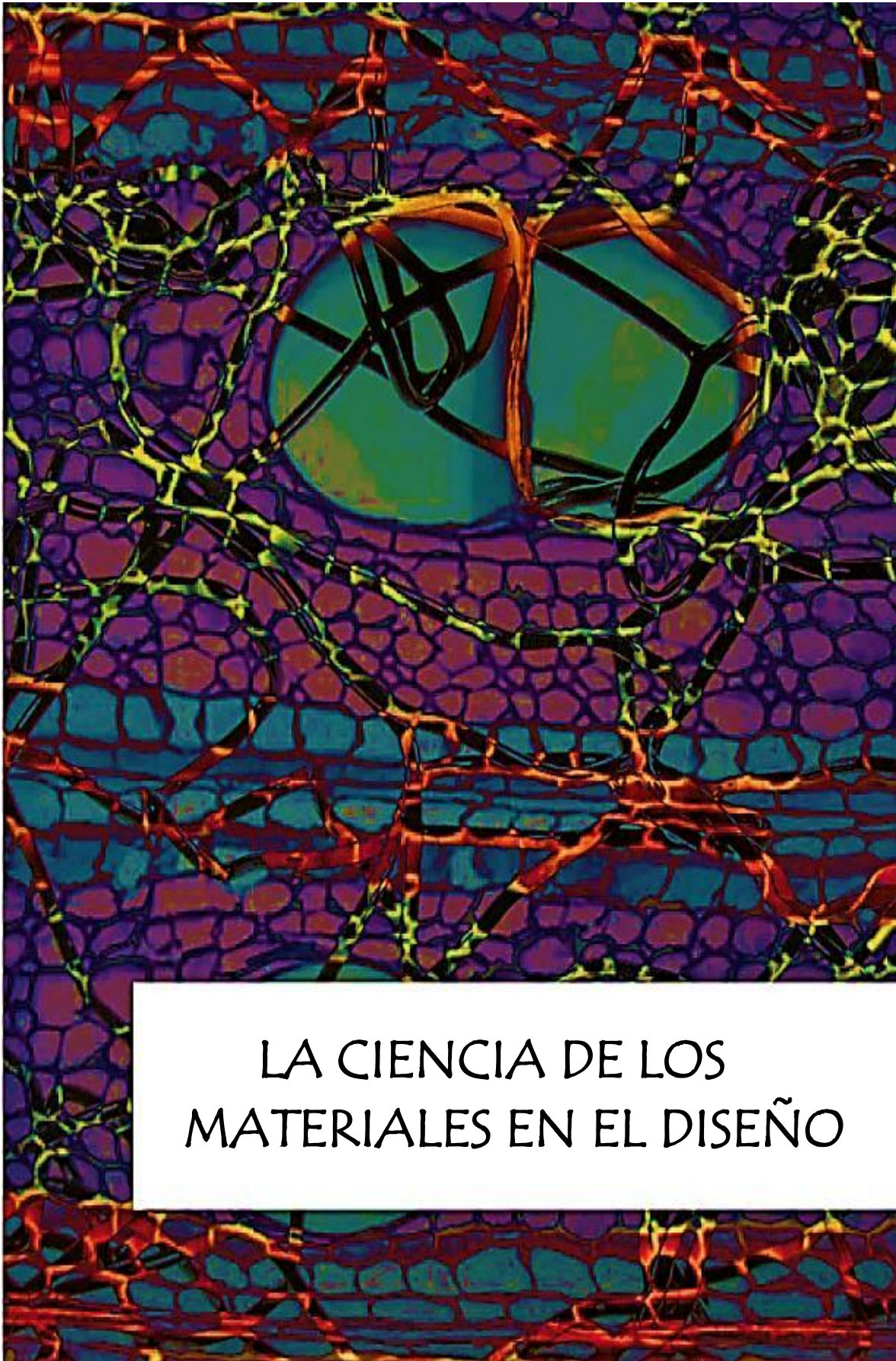
Son propiedades que pueden ser influidas o no en forma significativa por fuerzas externas ejercidas sobre un material. Algunas de estas propiedades técnicas describen características como el color, elasticidad, conductividad eléctrica o térmica, resistencia al impacto, magnetismo, resistencia a tensión y a compresión, entre otras.

### **PROPIEDADES SENSORIALES O METAFÍSICAS**

Las propiedades sensoriales son aquellas que definen las experiencias sensibles que se pueden desarrollar con los materiales y los sentidos. uso

### **DISEÑO DE MATERIALES**

Es el proceso de sintetizar materiales utilizando modelos o metodologías teóricas que permitan obtener muestras físicas de materiales con diferentes propiedades técnicas y sensoriales, de acuerdo a la aplicación y usuario final.



LA CIENCIA DE LOS  
MATERIALES EN EL DISEÑO

## INTRODUCCIÓN

A finales del siglo pasado se decía que la sociedad futura se sustentaría en tres elementos: Materiales, energía e información. En estos primeros años del siglo XXI esa predicción es una realidad, especialmente en el campo de los materiales. El desarrollo de nuevos materiales y tecnologías requiere el esfuerzo conjunto de especialistas de diferentes orígenes, de forma que químicos, físicos e ingenieros tienen un papel predominante en esta empresa pluridisciplinar.

Los materiales del siglo XXI serán formados “a la carta” para cada necesidad y ello implica el diseño y síntesis de nuevos productos, la elaboración de modelos teóricos que analicen la influencia que su estructura ejerce sobre sus potenciales propiedades aplicativas y además adecuadas tecnologías de fabricación (Saja Sáez, Rodríguez Pérez, & Rodríguez Méndez, 2005).

Es precisamente en esta fase donde entra el diseñador a ser parte del grupo de especialistas en materiales, para dar respuesta a la actual tendencia en el campo de los materiales. Este capítulo expone los principales grupos de materiales y sus comportamientos, dando conceptos y descripciones importantes que le permitirán al diseñador comprender la naturaleza de cada material y sus atributos, de acuerdo a la configuración atómica del mismo.

## 1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

En el libro ciencia e ingeniería de los materiales (Askeland & Phulé, 2004) se describen tres formas posibles de clasificar los materiales. Según su naturaleza, según su estructura y según su función.

### Clasificación según su naturaleza

La clasificación de materiales según su naturaleza se basa en 5 grupos de materiales (Ver tabla 1).

**Tabla 1: Clasificación de los materiales (Askeland & Phulé, 2004)**

<p style="text-align: center;"><b>CERÁMICOS, VIDRIOS Y VITROCERÁMICOS</b></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">(Generalitat Valenciana, 2009)</p>
<p style="text-align: center;"><b>METALES Y ALEACIONES</b></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">(Sopormetal, 2011)</p>
<p style="text-align: center;"><b>POLÍMEROS (PLÁSTICOS)</b></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">(Red Petro Ingeniería, 2006)</p>



La clasificación de materiales asocia materiales que tienen similitud en la estructura atómica o en las propiedades técnicas. Este tipo de clasificación puede considerarse parcial ya que puede variar de acuerdo a los descubrimientos y a los avances tecnológicos. Un ejemplo de estos son los materiales compuestos los cuales se forman a partir de la combinación entre materiales para obtener propiedades y características que generalmente no tienen los materiales convencionales.

**Clasificación según su función**

Este tipo de clasificación permite identificar los materiales según su función más importante. Entre esta funciones se encuentran: Aeroespaciales, biomédicas, electrónicas, tecnológicas (energéticas y ambientales), magnéticas, ópticas, inteligentes y estructurales.

**Clasificación según su estructura**

El término *estructura* indica el arreglo atómico de un material; la estructura a escala microscópica se llama *Microestructura* y a escala macroscópica se llama *Macroestructura*. Estos arreglos se pueden considerar en distintas escalas: desde unidades angstrom hasta un milímetro. Algunos materiales tienen microestructuras cristalinas, donde los átomos del material se ordenan en forma periódica (Ver figura 1). O pueden ser amorfos, donde los átomos del material no tienen orden a

gran escala (Ver figura 2). Para efectos prácticos, la información suministrada en este trabajo se dará en términos de la microestructura y macroestructura de los materiales.

Algunos materiales cristalinos pueden estar en forma de un cristal y se llaman monocristales. Otros están formados por muchos cristales o granos y se llaman policristalinos. Las características de los cristales o granos son el tamaño y la forma. Las regiones entre ellos se denominan límites de grano, los cuales son zonas angostas donde los átomos no tienen las distancias correctas. Estos límites influyen también sobre las propiedades del material (Ver figura 3). Un grano es una porción del material dentro de la cual el arreglo de los átomos es casi idéntico. Sin embargo, la orientación del arreglo de átomos, o estructura cristalina, es distinta en cada grano vecino (Askeland & Phulé, 2004).

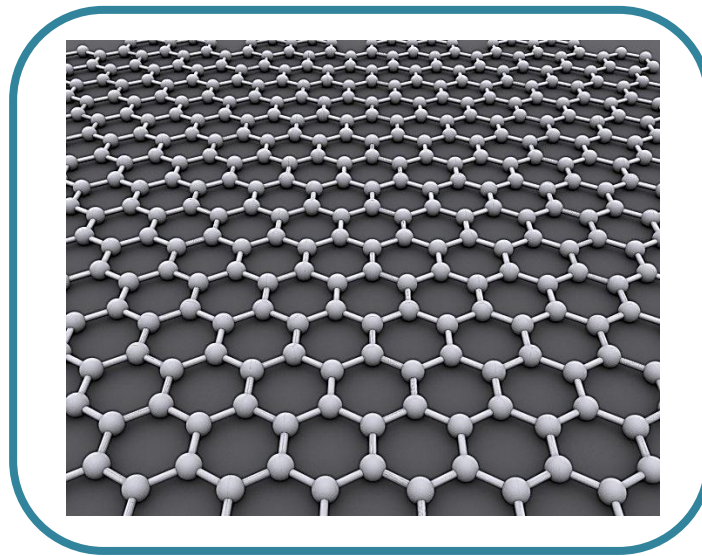


Figura 1: Estructura Cristalina de un material (Viklund, 2011)

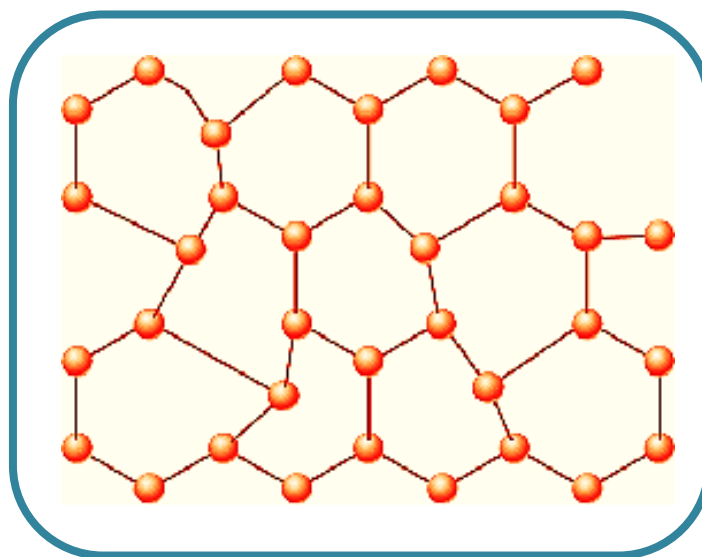



Figura 2: Estructura amorfa de un material (Estructura de los materiales, 2010)



**Figura 3: Estructura policristalina de un material (Réplicas metalográficas, 2010)**



## 1.2 Materiales metálicos para el diseño

Los materiales metálicos son sólidos que se caracterizan por ser de naturaleza inorgánica, presenta enlaces atómicos de tipo metálico y presenta átomos ubicados de forma regular en la estructura, lo que indica que es de estructura cristalina. En la figura 4 se observa una posible superficie de un material metálico.



Figura 4: Superficie de un material metálico (Arqhys. Arquitectura, 2010)

### **Clasificación de los metales**

Los materiales metálicos se encuentran divididos en dos grupos lo cuales son:

#### **Metales Ferrosos**

Los metales ferrosos presentan hierro (Fe) en su estructura química. Las aleaciones ferrosas son las que se basan en la unión de hierro (Fe) -carbono(C). Dentro del grupo de aleaciones ferrosas se da una subclasificación adicional donde se encuentran los aceros y las fundiciones de hierro. El porcentaje de carbono en la aleación da origen a estas dos subclasificaciones. El contenido de Carbono en el acero fluctúa entre el 0.02% y el 2.11% de carbono en peso. Arriba del 2.11% hasta el 4 o 5% de carbono la aleación se define como fundición de hierro (Groover, 1997).

#### **El acero**

El acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2% de C). Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cromo (Cr) o Níquel (Ni) se agregan con propósitos determinados. Ya que el acero es básicamente hierro altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con la reducción de hierro (producción de arrabio) el cual se convierte más tarde en acero. Existen diferentes tipos de aceros los cuales se pueden identificar como aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidable (InfoAcero).

**Acero al carbono:** Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono ya que éste es el elemento principal de refuerzo (Askeland & Phulé, 2004).

- **Aceros de bajo carbono:** (*Low carbon steel*) son los que contienen menos del 0,25% de C en peso. Son blandos pero dúctiles y se utilizan en vehículos, tuberías y elementos estructurales. Son relativamente fáciles de formar, por lo que utilizados donde no se requiera de alta resistencia.
- **Aceros de medio carbono:** (*Medium carbon steel*) son los que contienen entre 0,25% y 0,60% de C en peso. Para mejorar sus propiedades son tratados térmicamente. Son más resistentes que los aceros bajos en carbono, pero menos dúctiles. Se emplean en piezas de ingeniería que requieren una alta resistencia mecánica y al desgaste.
- **Acero de alto carbono:** (*Hight carbon steel*) son los que contienen entre 0,60% y 1,4% de C en peso. Son aún más resistentes, pero también menos dúctiles. Se añaden otros elementos para que formen carburos, por ejemplo, con wolframio se forma el carburo de wolframio, WC; estos carburos son muy duros. Estos aceros se emplean principalmente en herramientas.

**Aceros aleados:** Estos aceros contienen una proporción determinada de elementos como aluminio (Al), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), manganeso (Mn), silicio (Si), molibdeno (Mo) y vanadio (Va) que totalizan menos del 5% en peso, aproximadamente. Debido a estas adiciones, los aceros aleados tienen propiedades mecánicas superiores a los aceros al carbono para determinadas aplicaciones (Groover, 1997).

**Aceros inoxidables:** Los aceros inoxidables contienen cromo (Cr), usualmente arriba del 15% en peso. El cromo forma en la aleación una delgada película impermeable de óxido, (bajo atmósfera oxidante) la cual protege a la superficie de la corrosión. El níquel (Ni) también incrementa la protección contra la oxidación. Existen otros elementos de aleación que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. El carbono se utiliza para reforzar y endurecer el metal; sin embargo, cuando se eleva su contenido se produce un efecto de reducción de la protección contra la corrosión.

Los aceros inoxidables son significativamente más costos que los aceros al carbono o los aleados. Algunos aceros inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refinerías de petróleo, para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad (Groover, 1997).

### Efectos de algunos elementos de aleación en el acero

Para los aceros aleados existen diferentes elementos que generan ciertas características en el material final. En la tabla 2 se distinguen los elementos y los efectos que genera cada uno de ellos en el acero.

Tabla 2: Elementos de aleación y sus efectos en el acero (Diseño mecánico)

ELEMENTOS DE ALEACIÓN	EFFECTOS DE ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN EL ACERO
<b>Aluminio</b>	Empleado en pequeñas cantidades, actúa como un desoxidante para el acero fundido y produce un Acero de Grano Fino.
<b>Boro</b>	Aumenta la templabilidad (la profundidad a la cual un acero puede ser endurecido).
<b>Cromo</b>	Aumenta la profundidad del endurecimiento y mejora la resistencia al desgaste y corrosión.
<b>Cobre</b>	Mejora significativamente la resistencia a la corrosión atmosférica.
<b>Manganeso</b>	Elemento básico en todos los aceros comerciales. Actúa como un desoxidante y también neutraliza los efectos nocivos del azufre, facilitando la laminación, moldeo y otras operaciones de trabajo en caliente. Aumenta también la penetración de temple y contribuye a su resistencia y dureza.
<b>Molibdeno</b>	Mediante el aumento de la penetración de temple, mejora las propiedades del tratamiento térmico. Aumenta también la dureza y resistencia a altas temperaturas.
<b>Níquel</b>	Mejora las propiedades del tratamiento térmico reduciendo la temperatura de endurecimiento y distorsión al ser templado. Al emplearse conjuntamente con el Cromo, aumenta la dureza y la resistencia al desgaste.
<b>Silicio</b>	Se emplea como desoxidante y actúa como endurecedor en el acero de aleación
<b>Azufre</b>	Normalmente es una impureza y se mantiene a un bajo nivel. Sin embargo, alguna veces se agrega intencionalmente en grandes cantidades (0,06 a 0,30%) para aumentar la maquinabilidad (habilidad para ser trabajado mediante cortes) de los aceros de aleación y al carbono
<b>Titanio</b>	Se emplea como un desoxidante y para inhibir el crecimiento granular. Aumenta también la resistencia a altas temperaturas.
<b>Tungsteno</b>	Se emplea en muchos aceros de aleación para herramientas, impartiendoles una gran resistencia al desgaste y dureza a altas temperaturas.
<b>Vanadio</b>	Imparte dureza y ayuda en la formación de granos de tamaño fino. Aumenta la resistencia a los impactos (resistencia a las fracturas por impacto) y también la resistencia a la fatiga.

### Designaciones del acero

La AISI (American Iron and Steel Institute) y la SAE (Society of Automotive Engineers) han organizado sistemas de designación que utilizan un número de cuatro o cinco dígitos. Los primeros dos dígitos se refieren a los principales elementos de aleación presentes, y los últimos dos o tres dígitos corresponden al porcentaje de carbono.

En la siguiente tabla se muestra cómo se identifica un acero por su composición química utilizando la norma AISI (Diseño mecánico)

Tabla 3: Composición química y designación de los aceros comunes AISI (Diseño mecánico)

N° AISI	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
<b>10XX</b>	Son aceros sin aleación con 0,XX % de C	(1010; 1020; 1045)
<b>41XX</b>	Son aceros aleados con Mn, Si, Mo y Cr	(4140)
<b>51XX</b>	Son aceros aleados con Mn, Si y C	(5160)

La numeración de los dígitos se lee de la siguiente forma: 10XX, 10 indica que el acero es al carbono y XX indica el porcentaje de carbono en cientos puntos porcentuales. Por ejemplo, el acero 1020 contiene 0.20% de carbono. En la tabla 4 se muestra la relación entre la nomenclatura AISI - SAE (Askeland & Phulé, 2004)

Tabla 4: Composición química y designación de los aceros comunes AISI-SAE (Askeland & Phulé, 2004)

N° AISI-SAE	CANTIDAD PORCENTUAL DE ELEMENTOS ALEANTES EN EL ACERO					
	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	Otros
<b>1020</b>	0.18-0.23	0.3-0.6				
<b>1040</b>	0.37-0.44	0.6-0.9				
<b>1060</b>	0.55-0.65	0.6-0.9				
<b>1080</b>	0.75-0.88	0.6-0.9				
<b>1095</b>	0.90-1.03	0.3-0.5				
<b>1140</b>	0.37-0.44	0.7-1.0				0.08-0.13% S
<b>4140</b>	0.38-0.43	0.75-1.0	0.15-0.30		0.8-1.10	0.15-0.25% Mo
<b>4340</b>	0.38-0.43	0.6-0.8	0.15-0.30	1.65-2.0	0.70-0.90	0.2-0.3% Mo
<b>4620</b>	0.17-0.22	0.45-0.65	0.15-0.30	1.65-2.0		0.2-0.3% Mo
<b>5210</b>	0.98-1.10	0.25-0.45	0.15-0.30		1.3-1.6	
<b>8620</b>	0.18-0.23	0.70-0.90	0.15-0.30	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25% Y
<b>9260</b>	0.56-0.64	0.75-1.0	0.18-2.20			

En la tabla 5 se observa cuál elemento corresponde al primer dígito de acuerdo a la numeración AISI y SAE en las aleaciones de acero (Aceros aleados)

Tabla 5: Convenciones para el primer dígito de las aleaciones de acero (Aceros aleados)

DÍGITO	ELEMENTO ALEANTE
<b>1</b>	Carbono
<b>2</b>	Níquel
<b>3</b>	Níquel-Cromo, principal aleante el Cromo
<b>4</b>	Molibdeno
<b>5</b>	Cromo
<b>6</b>	Cromo-Vanadio, principal aleante el Cromo
<b>7</b>	Esta numeración indica que son aceros resistentes al calor, pero estos no se fabrican habitualmente.
<b>8</b>	Níquel-Cromo-Molibdeno, principal aleante el Molibdeno
<b>9</b>	Silicio

### **Fundiciones de hierro** (Groover, 1997)

La fundición de hierro, conocida también como hierro colado, es una aleación que contiene de 2.11% hasta cerca del 4% de carbono (C) y de 1% a 3% de silicio (Si). Existen diferentes tipos de fundiciones de hierro las cuales se pueden identificar como fundición gris, fundición nodular (dúctil), fundición blanca, fundición maleable.

**Fundición gris:** La fundición gris representa el mayor tonelaje entre las fundiciones de hierro. Tiene una composición que varía entre 2.5 y 4% de C y 1 a 3% de Si. Las reacciones químicas internas derivan en la formación de hojuelas de grafito (carbono) distribuidas a todo lo largo del producto fundido en la solidificación. Esta estructura es la causa de que la superficie del material tenga un color gris cuando se fractura; de aquí el nombre de fundición gris. La dispersión de las hojuelas de grafito representa dos propiedades atractivas: 1) buena amortiguación a la vibración, que es una característica deseable en motores y otras máquinas; y 2) cualidades de lubricación internas, que hacen maquinable la fundición.

**Fundición nodular (dúctil):** Es un hierro con la composición del hierro gris, en la cual el metal fundido se trata químicamente antes de vaciarlo para provocar la formación de nódulo de grafito en lugar de hojuelas. El resultado es un hierro más fuerte y más dúctil, de aquí el nombre de fundición dúctil. Sus aplicaciones incluyen componentes de maquinaria que requieren alta resistencia mecánica y buena resistencia al desgaste.

**Fundición blanca:** Posee menor contenido de carbono y silicio que la fundición gris. Se forma mediante un enfriamiento más rápido del metal fundido después de haberlo vaciado, esto causa que el carbono permanezca combinado químicamente con el hierro en forma de cementita (carburo de hierro), en vez de precipitar la solución en forma de hojuelas. Cuando la superficie se fractura tiene una apariencia blanca cristalina que da su nombre a la fundición. Debido a la cementita, la fundición es dura y frágil y su resistencia al desgaste es excelente. Estas propiedades la hacen adaptable para aplicaciones donde se requiere resistencia al desgaste. Las zapatas de freno de ferrocarril son un ejemplo clásico.

**Fundición maleable:** Cuando las piezas de fundición blanca se tratan térmicamente para separar el carbono en solución y formar agregados de grafito, el metal resultante se llama fundición maleable. La nueva microestructura puede tener una ductilidad sustancial (arriba de 20% de elongación), que es una diferencia significativa con respecto al metal del cual procede. Los productos típicos hechos con fundición maleable incluyen accesorios para tubería y bridas, algunos componentes para máquinas y partes de equipo ferroviario.

En las fundiciones de hierro se identifican varios elementos aleados. En la siguiente tabla se identifican las más comunes para cada tipo.

Tabla 6: Composición química de las fundiciones de hierro(Wick &amp; Veilleux, 1985)

TIPO DE FUNDICIÓN	CANTIDAD PORCENTUAL DE ELEMENTOS ALEANTES AL HIERRO				
	Fe	C	Si	Mn	Otros <sup>a</sup>
<b>FUNDICIONES GRISES</b>					
Clase 20	93.0	3.5	2.5	0.65	
Clase 30	93.6	3.2	2.1	0.75	
Clase 40	93.8	3.1	1.9	0.85	
Clase 50	93.5	3	1.6	1.0	0.67Mo
<b>FUNDICIONES DÚCTILES</b>					
ASTM A395	94.4	3	2.5		
ASTM A476	93.8	3	3		
<b>FUNDICIONES BLANCAS</b>					
Bajo-C	92.5	2.5	1.3	0.4	1.5Ni,1Cr,0.5Mo
<b>FUNDICIONES MALEABLES</b>					
Ferríticas	95.3	2.6	1.4	0.4	
Perlíticas	95.1	2.4	1.4	0.8	

<sup>a</sup>Las fundiciones de hierro contienen también Fósforo y Azufre en un porcentaje máximo de 0.3%

### Metales no ferrosos

Los metales no ferrosos incluyen elementos metálicos y aleaciones que no se basan en el hierro. Los metales de ingeniería más importantes en el grupo de los no ferrosos son el aluminio, cobre, níquel, cobalto, zinc, magnesio, titanio, metales preciosos (plata, oro, platino, paladio) y sus aleaciones (Groover, 1997). Dependiendo de sus características, estos materiales sustituyen con ventaja a los derivados del hierro en múltiples aplicaciones tecnológicas. Sin embargo, resulta más costosa su adquisición debido a diversas razones, entre las que destacan la baja concentración de algunos de estos metales es sus menas, la energía consumida en los procedimientos de obtención, ya que en la mayoría de los casos se trata de procesos electrolíticos para los que se emplea energía eléctrica y la demanda reducida, que obliga a producirlos en pequeñas cantidades (IES Villalba Hervás).

Aunque el grupo de los metales no ferrosos no pueden igualar la resistencia de los aceros, algunas aleaciones no ferrosas tienen características, como resistencia a la corrosión y relaciones resistencia-peso, que los hacen competitivos con los aceros en aplicaciones con esfuerzos moderados y altos (Groover, 1997). Existen diferentes clasificaciones para los metales no ferrosos las cuales se pueden identificar como: Aleaciones ligeras, aleaciones pesadas, metales preciosos, metales refractarios (Oposipedia).

### Aleaciones ligeras

Son aleaciones formadas a partir de metales bases de baja densidad como el aluminio (Al) el magnesio (Mg), el zinc (Zn) y el titanio (Ti).

**Aleaciones de Aluminio:** El aluminio es el tercer elemento más abundante sobre la tierra (después del oxígeno y el silicio), constituye casi el 8% de la corteza terrestre, pero aun así, hasta finales del siglo XIX, era costoso y difícil de producir. El aluminio tiene una densidad de  $2.7\text{g/cm}^3$ , es decir, la tercera parte de la densidad del acero. A pesar de que las aleaciones de aluminio tienen propiedades a la tensión inferiores a las del acero, su resistencia específica (es decir, su relación resistencia peso) es excelente. (Askeland & Phulé, 2004).

- **Producción de Aluminio:** El principal mineral de aluminio es la bauxita, que en su mayoría es aluminio hidratado ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), y otros óxidos. La extracción del aluminio a partir de la bauxita puede resumirse en tres pasos: 1) Lavado y triturado del mineral para reducirlo a polvo fino; 2) Procesamiento Bayer, mediante el cual la bauxita se convierte en alúmina pura ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ); 3) Electrólisis para separar el aluminio de la alúmina y del gas oxígeno ( $\text{O}_2$ ).

El proceso Bayer, llamado así por el químico alemán que lo desarrolló, involucra una solución de polvos de bauxita en solución acuosa de sosa cáustica (NaOH) bajo presión, seguida de la precipitación de la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) pura en solución (Groover, 1997). El desarrollo de la energía eléctrica para la reducción electrolítica de la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a un metal de aluminio líquido permitió que el aluminio se convirtiera en uno de los materiales de ingeniería más económicos y extensamente utilizados. En este proceso la alúmina se convierte en criolita fundida ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) (Askeland & Phulé, 2004).

- **Especificaciones del aluminio:** El aluminio se puede conformar con facilidad, tiene una elevada conductividad eléctrica y térmica y a bajas temperaturas no presenta una transición de dúctil a frágil. No es tóxico y se puede reciclar mediante el solo 5% de la energía que fue necesaria para su fabricación a partir de la alúmina. Esta es la razón por la cual tiene tanto éxito el reciclaje del aluminio. Debido a su bajo punto de fusión, no funciona bien a altas temperaturas. Además las aleaciones de aluminio tienen baja dureza y en consecuencia su resistencia al desgaste es pobre.

El aluminio reacciona con el oxígeno, incluso a temperatura ambiente, para producir una capa de óxido de aluminio extremadamente delgada que protege el metal subyacente contra muchos entornos corrosivos. Algunos desarrollos nuevos relacionados con el aluminio incluyen el desarrollo de aleaciones de aluminio con concentraciones mayores de magnesio para usarlas en la fabricación de automóviles. También hay interés en el desarrollo de procesos que transformen el aluminio fundido en láminas y otros productos sólidos.

Las aleaciones de aluminio pueden dividirse en dos grupos principales: aleaciones para forja y aleaciones para fundición, dependiendo de su método de fabricación. Las **aleaciones para forja**, a las cuales se les da forma mediante deformación plástica, tienen composiciones y microestructuras diferentes a las **aleaciones para fundición**, lo que refleja los diferentes requerimientos del proceso de manufactura.

Las aleaciones de aluminio se designan siguiendo el sistema que aparece en la tabla 7. El primer número define los principales elementos de la aleación; los números restantes se refieren a la composición específica de la aleación. Para los aluminios forjados se usa un punto decimal después del tercer dígito para fundiciones de aluminio (Askeland & Phulé, 2004).

Tabla 7: Convenciones para las aleaciones de aluminio forjadas y fundidas (Groover, 1997)

GRUPO DE ALEACIÓN	CÓDIGO PARA FORJADO	CÓDIGO PARA FUNDICIÓN
<b>Aluminio 99% o mayor pureza</b>	1XXX	1XX.X
<b>Aleaciones de aluminio por elemento(s) mayor(es)</b>		
<b>Cobre</b>	2XXX	2XX.X
<b>Manganeso</b>	3XXX	
<b>Silicio y cobre y/o Magnesio</b>		3XX.X
<b>Silicio</b>	4XXX	4XX.X
<b>Magnesio</b>	5XXX	5XX.X
<b>Magnesio y silicio</b>	6XXX	
<b>Zinc</b>	7XXX	7XX.X
<b>Estaño</b>		8XX.X
<b>Otros</b>	9XXX	9XX.X

**Aleaciones de Magnesio:** El magnesio, que a menudo se extrae electrolíticamente del cloruro de magnesio concentrado en el mar, es más ligero que el aluminio con una densidad de  $1.74\text{g/cm}^3$  y se funde a una temperatura ligeramente inferior que el aluminio. En muchos entornos, la resistencia a la corrosión del magnesio se aproxima a la del aluminio; sin embargo, la exposición a ambientes salinos, como los próximos al mar, causa un rápido deterioro (Askeland & Phulé, 2004).

- **Producción del magnesio:** El agua de mar tiene alrededor de un 0.13% de  $\text{MgCl}_2$ , y ésta es la mayor fuente del magnesio producido comercialmente. Para extraer el magnesio se extrae un lote de agua de mar con una lechada de cal [hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ ]. La reacción resultante precipita hidróxido de magnesio [ $\text{Mg(OH)}_2$ ], el cual se asienta y se remueve como lodo; este se filtra para incrementar su contenido de [ $\text{Mg(OH)}_2$ ]. A la mezcla resultante se adiciona ácido clorhídrico (HCL) para que reaccione con el hidróxido y se forme  $\text{MgCl}_2$ , mucho más concentrado que en el agua de mar original. La electrólisis se usa para descomponer la sal en magnesio (Mg) y gas cloro ( $\text{Cl}_2$ ). El magnesio se funde y el cloro se recicla para formar más  $\text{MgCl}_2$  (Groover, 1997).
- **Especificaciones del magnesio:** Aunque las aleaciones de magnesio no son tan resistentes como las de aluminio, sus resistencias específicas son comparables. En consecuencia las aleaciones de magnesio se utilizan en aplicaciones aeroespaciales, en maquinaria de alta velocidad y en equipo de manejo y de transporte de materiales (Askeland & Phulé, 2004). El magnesio y sus aleaciones se encuentran disponibles en ambas formas, forjadas y en fundición. Su maquinado es relativamente fácil, sin embargo representa un riesgo durante la fundición y el maquinado, ya que las partículas de magnesio se combinan con facilidad con el oxígeno y puede causar incendios.

El esquema de especificaciones para aleaciones de magnesio usa un código de tres a cinco dígitos alfanuméricos. Los dos primeros son letras que identifican a los principales elementos de la aleación (Ver tabla 8). En el código se puede especificar hasta dos elementos en orden decreciente y van seguidas por un número de dos dígitos que indica, respectivamente, las cantidades de los dos elementos al porcentaje más cercano. Finalmente el último símbolo es una letra que indica algunas variaciones en la composición o simplemente el orden cronológico en que fue normalizada para uso comercial. En la tabla 9 se presentan algunas aleaciones de magnesio con su respectivo proceso (Groover, 1997).

Tabla 8: Letras clave usadas para identificar los elementos de aleación del magnesio(Groover, 1997)

LETRA	ELEMENTO	LETRA	ELEMENTO
A	Al	P	Pb
E	Tierras raras	Q	Ag
H	Th	S	Si
K	Zr	T	Sn
M	Mn	Z	Zn

Tabla 9: Convenciones para las aleaciones de magnesio trabajadas, fundidas y forjadas(Groover, 1997)

CÓDIGO	CANTIDAD PORCENTUAL DE ELEMENTOS ALEANTES AL MAGNESIO						
	Mg	Al	Mn	Si	Zn	Otros	Proceso
AZ10A	98.0	1.3	0.2	0.1	0.4		trabajado
AZ80A	91.0	8.5			0.5		Forjado
HM31A	95.8		1.2			3.0Th	Trabajado
ZK21A	97.1				2.3	0.6Zr	Trabajado
AM60	92.8	6.0	0.1	0.5	0.2	0.3Cu	Fundición
AZ63A	91.0	6.0			3.0		Fundición

**Aleaciones de Titanio:** El titanio es medianamente abundante en la naturaleza, constituye cerca del 1% de la corteza terrestre. La densidad del titanio es de  $4.5\text{g/cm}^3$ . Su importancia ha aumentado en las décadas recientes debido a sus aplicaciones aeroespaciales, en las cuales se explota su peso ligero y su buena razón resistencia/peso.

- **Producción del titanio:** El principal mineral de titanio es el rutilo, que tiene un 98% de  $\text{TiO}_2$ , y la ilmenita que es una combinación de  $\text{FeO}$  y  $\text{TiO}_2$ . Para recuperar el metal de sus minerales, el  $\text{TiO}_2$  se convierte en tetracloruro de titanio ( $\text{TiCl}_4$ ) haciendo reaccionar el compuesto con gas cloro. Después continúan varios pasos de destilación para remover impurezas. El  $\text{TiCl}_4$  altamente concentrado se reduce entonces a titanio metálico por medio de una reacción con magnesio; este se conoce como proceso kroll. Esto debe mantenerse bajo una atmósfera inerte para prevenir que el  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , o  $\text{H}_2$ , contaminen el titanio, debido a su afinidad química por esos gases.

- Especificaciones del titanio:** El titanio puro es reactivo, lo cual presenta problemas para su procesamiento, especialmente en estado fundido. Sin embargo, forma a temperatura ambiente un delgado adherente de óxido (TiO<sub>2</sub>) que suministra resistencia a la corrosión. En estado puro el titanio se usa para componentes resistentes a la corrosión, tales como componentes marinos, implantes y prótesis. Y las aleaciones de titanio se usan como componentes con alta resistencia en un rango de temperaturas, desde temperatura ambiente hasta 550°C. Algunos de los elementos aleantes son el aluminio, el manganeso, el estaño y el vanadio. En la tabla 10 se presentan algunas composiciones de los elementos aleantes del titanio (Groover, 1997)

Tabla 10: Convenciones para las aleaciones de titanio (Groover, 1997)

CÓDIGO	CANTIDAD PORCENTUAL DE ELEMENTOS ALEANTES AL TITANIO					
	Ti	Al	Cu	Fe	V	Otros
R50250	99.8			0.2		
R56400	89.6	6.0		0.3	4.0	<sup>b</sup>
R54810	90.0	8.0			1.0	1Mo <sup>b</sup>
R56620	84.3	6.0	0.8	0.8	6.0	2Sn <sup>b</sup>

<sup>b</sup>Indicios de C,H,O

**Aleaciones de zinc:** El zinc es un metal con una densidad de 7.9g/cm<sup>3</sup>, al igual que las otras aleaciones ligeras se caracteriza por suministrar protección contra la corrosión, pero cuando se aplica como recubrimiento sobre el acero o el hierro. El término acero galvanizado se refiere al acero que ha sido recubierto con zinc. Este metal también se encuentra en el latón, el cual es una aleación entre el cobre y el zinc.

- Producción de zinc:** La blenda de zinc o *esfalerita* es el principal mineral del zinc, contiene sulfuro de zinc (ZnS). La *esfalerita* debe concentrarse debido a la poca proporción del sulfuro de zinc presente en el mineral. Esto se realiza por trituración del mineral y su posterior molienda con agua en un molino de bolas para crear una pasta acuosa. Este lodo se agita en presencia de un agente espumante, de manera que las partículas del mineral floten en la superficie y puedan separarse de los minerales de menor concentración. El sulfuro de zinc más concentrado se calcina a 1260°C, y de la reacción resultante se forma óxido de zinc (ZnO). Para extraer el zinc de este óxido se pueden usar varios procesos termoquímicos, con algunas variaciones, todos estos procedimientos reducen el zinc por medio del carbono. El carbono se combina con el oxígeno del ZnO para formar Co o Co<sub>2</sub>, liberando al Zn en forma de vapor que después se condensa para recuperar el metal deseado.
- Especificaciones del zinc:** Las aleaciones de zinc se usan ampliamente en la fundición de dados para producciones masivas de componentes destinados a la industria automotriz y de accesorios y su bajo punto de fusión lo hace atractivo como un metal de fundición (Groover, 1997). En la tabla 11 se presentan algunas composiciones de los elementos aleantes del zinc.

Tabla 11: Convenciones para las aleaciones de zinc (Groover, 1997)

CÓDIGO	CANTIDAD PORCENTUAL DE ELEMENTOS ALEANTES AL ZINC				
	Zn	Al	Cu	Mg	Fe
Z33520	95.6	4.0	0.25	0.04	0.1
Z35540	93.4	4.0	2.5	0.04	0.1
Z35635	90.0	8.0	1.0	0.02	0.06
Z35840	84.3	27.0	2.0	0.02	0.07
Z45330			1.0	0.01	

**Aleaciones pesadas**

Son aleaciones formadas a partir de metales bases de alta densidad como el Cobre (Cu), el Plomo (Pb) y el Níquel (Ni).

**Aleaciones de níquel:** El níquel es un elemento similar al hierro. Es magnético y su módulo de elasticidad es prácticamente el mismo para el hierro y el acero. Difiere del hierro en que es mucho más resistente a la corrosión y las propiedades de sus aleaciones a altas temperaturas son generalmente superiores. Debido a sus características de resistencia a la corrosión, se usa ampliamente como un elemento de aleación en acero, tal como el acero inoxidable y como un metal de chapeado sobre otros metales como el acero al carbono.

- **Producción de níquel:** El mineral más importante de níquel es la *pentlandita* (Ni, Fe)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>. Para extraer el níquel se tritura primero el mineral y se muele con agua. Se usan técnicas de flotación para separar los sulfuros de otras sustancias mezcladas con el mineral. El sulfuro de níquel se calienta para quemar algo de azufre y luego se funde para remover el hierro y el silicio. El refinado posterior se realiza en un convertidor tipo Bessemer para obtener una alta concentración de sulfuro de níquel. Se utiliza entonces la electrólisis para recuperar un níquel de alta pureza a partir de este compuesto. Las menas de níquel se mezclan algunas veces con menas de cobre y las técnicas de recuperación descritas también producen cobre en estos casos.
- **Especificaciones del níquel:** Las aleaciones de níquel son comercialmente importantes y notables por su resistencia a la corrosión y su desempeño a altas temperaturas. La composición de algunas aleaciones de níquel se dan en la tabla12.(Groover, 1997)

Tabla 12: Convenciones para las aleaciones de níquel (Groover, 1997)

CÓDIGO	CANTIDAD PORCENTUAL DE ELEMENTOS ALEANTES AL NÍQUEL						
	Ni	Cr	Cu	Fe	Mn	Si	OTROS
270	99.9		a	a			
200	99.0		0.2	0.3	0.2	0.2	C, S
400	66.8		30.0	2.5	0.2	0.5	C
600	74.0	16.0	0.5	8.0	1.0	0.5	
230	52.8	22.0		3.0	0.4	0.4	b

<sup>a</sup>Indicios - <sup>b</sup>Otros elementos de aleación en el grado 230: Co=5%; Mo= 2%; W=14%; Al=0.3%; y C=0.1%.

**Aleaciones de cobre:** El cobre es uno de los metales más conocidos por los seres humanos desde la antigüedad. El cobre puro tiene un color rosado rojizo característico. Por otra parte, la resistencia y la dureza del cobre son relativamente bajas, especialmente cuando se toma en cuenta el la densidad del material ( $8.9\text{g/cm}^3$ ). En consecuencia, para mejorar su resistencia, el cobre se alea frecuentemente. La propiedad más distintiva en ingeniería es su baja resistividad eléctrica, una de las más bajas en todos los elementos. Debido a ésta propiedad y a su abundancia relativa en la naturaleza, el cobre puro es ampliamente utilizado como conductor eléctrico (es preciso señalar que la conductividad del cobre disminuye significativamente cuando se añaden elementos de aleación). El cobre es también un excelente conductor térmico. El cobre es uno de los metales nobles como el oro y la plata.

- **Producción del cobre:** En la antigüedad, el cobre se encontraba disponible en la naturaleza como elemento libre. Como actualmente es más difícil encontrar esos depósitos naturales, el cobre se extrae de sus minerales que en su mayoría son sulfuros, como la *calcopirita* ( $\text{CuFeS}_2$ ). El mineral se tritura y se concentra por flotación y luego se aparta (esto significa asociar la fusión con una reacción química para separar el metal de su mineral). El cobre resultante se llama *cobre ampollado (blister)*, que tiene una pureza entre 98 y 99%. Para obtener mayores niveles de pureza se usa la electrólisis que suministra niveles adecuados para su uso comercial.
- **Especificaciones del cobre:** Algunos de los materiales que resultan de las aleaciones con el cobre es el *bronce* (90%Cu, 10%Sn), a pesar de su antigüedad ancestral aún se utiliza ampliamente en la actualidad. Se han desarrollado aleaciones adicionales de bronce basadas en otros elementos fuera del estaño; éstas incluyen bronce de aluminio y silicio. El *latón* es otra aleación familiar de cobre, compuesta de 65% de Cu y 35% de Zn. La aleación de cobre con mayor resistencia es berilio - cobre (98% de Cu y 2% de Be) las cuales son utilizadas en resortes.

Las aleaciones de cobre también se pueden seleccionar con el objeto de producir un color decorativo apropiado. El cobre puro es rojo; las adiciones de zinc producen un color amarillo o hasta dorado y las de níquel un color plateado. El cobre se corroe con facilidad, formando un sulfato de cobre básico ( $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ). Este es un compuesto verde insoluble en el agua, pero solubles en los ácidos. Esta pátina verde da un acabado atractivo en muchas aplicaciones. Un ejemplo de esto es la estatua de la libertad.

La especificación de las aleaciones de cobre se basa en el United Numbering System for Metals and Alloys (UNS), el cual usa un número de cinco dígitos precedidos por la letra C (C de cobre). Las aleaciones se procesan en las formas de forja y de fundición, y el sistema de especificación incluye ambas. En la tabla 13 se presentan algunas aleaciones de cobre con sus composiciones. (Groover, 1997)

Tabla 13: Convenciones para las aleaciones de cobre (Groover, 1997)

CÓDIGO	CANTIDAD PORCENTUAL DE ELEMENTOS ALEANTES AL COBRE				
	Cu	Be	Ni	Sn	Zn
C10100	99.9				
C11000	99.95				
C17000	98.0	1.7	b		
C24000	80.0				20.0
C26000	70.0				30.0
C52100	92.0			80.0	
C71500	70.0		30.0		
C71500 <sup>a</sup>	70.0		30.0		

<sup>a</sup>Tratada térmicamente para alta resistencia - <sup>b</sup>Pequeñas cantidades de Ni y Fe más 0.3% de Cu

**Aleaciones de plomo:** El plomo es un metal pesado, con una densidad de 11.35 g/cm<sup>3</sup>, de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico porque forma su propio revestimiento protector de óxido. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos.

Sin embargo, en la actualidad el envenenamiento por plomo es raro en virtud de la aplicación industrial de controles modernos, tanto de higiene como relacionados con la ingeniería. El mayor peligro proviene de la inhalación de vapor o de polvo. El plomo rara vez se encuentra en su estado elemental, el mineral más común es el sulfuro, la galeana, los otros minerales de importancia comercial son el carbonato, cerusita, y el sulfato, anglesita, que son mucho más raros. También se encuentra plomo en varios minerales de uranio y de torio (Lenntech).

- **Producción de plomo:** El concentrado de plomo o galena contiene 65 a 68 % de plomo. La galena es pasada por un horno de tostado para eliminar en lo posible la gran cantidad de azufre que contiene este material. Los gases del horno son procesados para obtener ácido sulfúrico y el material desulfurado pasa a un mezclador. El concentrado, producto del horno de tostado, es mezclado con caliza, arena, escoria y mena de hierro, la que es pasada a un horno de sinterizado. El material aglomerado por el horno de sinterizado se pasa a un alto horno del cual se obtiene cadmio al procesar sus gases y su producto es transferido a un tanque espumador.

En el tanque la espuma es recogida y enviada a una marmita a la que se le agrega azufre y con ello se obtiene cobre. Sedimento del tanque espumador pasa a un horno de oxidación, también conocido como horno ablandador. La escoria de este horno contiene antimonio y arsénico. El plomo derretido se pasa a una marmita de vacío. En la marmita de vacío se agrega zinc con el que el oro y la plata se disuelven, las aleaciones de oro y plata en la marmita flotan y se desnatan para ser pasadas a un horno de retorta del cual se recupera el zinc por medio de un condensador y el oro y la plata por medio de un baño electrolítico. El plomo derretido pasa a la cámara de vacío luego derramado en una marmita a la que se agrega sosa cáustica de la cual se obtiene el plomo de gran calidad. (Portaleso).

- **Especificaciones del plomo:** El plomo y el estaño se consideran muchas veces juntos, debido a su baja temperatura de fusión y a que constituyen la aleación de soldadura blanda utilizada para hacer las conexiones eléctricas. El *plomo* es un metal con baja resistencia, baja dureza, alta ductilidad y buena resistencia a la corrosión. Además de su uso en soldadura blanda, el plomo y sus aleaciones tienen aplicaciones en plomería (soldado de tubos) y pantallas contra rayos X.

El estaño tiene un punto de fusión todavía más bajo que el plomo. Tiene baja resistencia, baja dureza y buena ductilidad. El uso más antiguo del estaño fue con el bronce en el año 3000 a.C. en Mesopotamia y Egipto. El bronce sigue siendo una aleación comercial. Otros usos del estaño son recubrimientos delgados de recipientes de acero (latas) para almacenar alimentos y, desde luego, metal para soldadura blanda.

### **Metales preciosos**

Los metales preciosos también son llamados *metales nobles*, debido a que son químicamente inactivos y se encuentran en estado libre en la naturaleza, es decir, no se encuentran combinados con otros elementos formando compuestos. En este grupo está el oro, la plata, el paladio y el platino. Son metales atractivos y se han usado a través de la historia de la civilización como metal para acuñar moneda y para respaldar la emisión de papel moneda. También se utilizan ampliamente en joyería y otras aplicaciones que aprovechan su alto valor. Los metales preciosos poseen las características de alta densidad, buena ductilidad, alta conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión, así como a temperaturas moderadas de fusión.

**El oro:** Es uno de los metales más pesados con una densidad de 19.32g/cm<sup>3</sup>; es suave, se puede formar fácilmente y posee un color amarillo característico que le añade valor. Además de sus aplicaciones monetarias y de joyería se usa en contactos eléctricos (debido a su buena conductividad y su resistencia a la corrosión), trabajos dentales y en el chapeado sobre otros metales con propósitos decorativos (Groover, 1997). Normalmente se ignora que el oro aleado puede presentar diferentes colores (Ver tabla 14).

Tabla 14: Colores del oro aleado (Metales preciosos)

ALEACIONES DE ORO	EJEMPLOS OBJETUALES
<p><b>Oro amarillo.</b> Aleación que tiene, por cada 1000 g de la misma, 750 g de oro fino, 125 g de plata fina y 125 g de cobre.</p>	 (Hisbabodas , 2011)
<p><b>Oro rojo.</b> Aquí las proporciones son 750 g de oro fino y 250 g de cobre.</p>	 (Fina Garcia, 2010)
<p><b>Oro rosa.</b> El contenido de 1000 g presenta 750 g de oro fino 50 g de plata fina y 200 g de cobre.</p>	 (Piaget, 2011)
<p><b>Oro blanco o Paladio.</b> Por cada 1000 g de oro blanco o paladio hay 750 g de oro fino y de 100 a 160 g de paladio. El resto es de plata fina.</p>	 (Hisbabodas , 2011)
<p><b>Oro gris.</b> En 1000 g de oro gris hay 750 g de oro fino y alrededor de 150 g de níquel. El resto es de cobre.</p>	 (Embelezia, 2009)
<p><b>Oro verde.</b> Contiene 750 g de oro fino y 250 g de plata por cada 1000 g de aleación.</p>	 (Joyas Esotéricas, 2009)

Dentro de esta gama de tonalidades en las aleaciones de oro la que más se ha comercializado ha sido la de color blanco. Hay varios motivos para ello, entre otros la elevada cotización de este metal (casi el doble de la del oro en enero de 2007) y la difícil manipulación tecnológica que exige el uso del platino, (elevado punto de fusión y fragilidad). Para el oro blanco hay tres tipos de aleación: Con níquel y sin paladio, con paladio y sin níquel y con una mezcla de las dos (Metales preciosos).

**El platino:** El platino es el único metal entre los metales comunes cuya densidad es mayor que la del oro, siendo esta de  $21.45\text{g/cm}^3$ . Aunque no es tan ampliamente usado como el oro, sus aplicaciones diversas incluyen la joyería, termopares, contactos eléctricos (Groover, 1997).

**La plata:** La plata tiene una densidad de  $10.5\text{g/cm}^3$ , es de menor costo por unidad de peso que el oro y el platino. Su atractivo brillo la hace altamente capacitada para monedas, joyería y artículos de mesa. Se usa también para rellenos de trabajo dental. La sensibilidad a la luz del cloruro de plata y la de otros haluros de plata los hacen materiales adecuados para fotografía (Groover, 1997).

**El paladio:** El paladio presenta un color blanco. Es algo más duro que el platino y menos dúctil, tiene una densidad de  $12\text{g/cm}^3$ , no se oxida con el aire y es el elemento del grupo del platino de menor densidad y menor punto de fusión. Es blando y dúctil al templearlo, aumentando considerablemente su dureza y resistencia al trabajarlo en frío. Es utilizado en joyería para las aleaciones de oro blanco (Groover, 1997)

**El rodio:** El rodio es un metal de color blanco parecido al del aluminio, tiene una densidad de  $12,4\text{g/cm}^3$  y se puede alear con otros metales con facilidad, principalmente con el platino. Es duro, considerablemente menos dúctil que el platino o el paladio, pero mucho más dúctil que cualquier otro metal de este grupo. Su uso en la joyería se limita a los baños de rodinado que se da al oro blanco o platino. Usualmente, el oro blanco es galvanizado con una capa externa de rodio de  $0.05$  a  $0.5\mu\text{m}$  de espesor. Debido a ese espesor tan reducido, los rayones en esta capa suelen ser muy frecuentes. Esto provoca la oxidación y el debilitamiento, aún más, de la capa de rodio. Lo ideal sería una capa de  $2.0\mu\text{m}$  para que dure más tiempo. Una joya de oro blanco con rodio puede ser chapada de nuevo en algunas joyerías (Metales preciosos).

### Metales refractarios

Los metales refractarios tienen temperaturas de fusión excepcionalmente altas (superiores a  $1925^\circ\text{C}$ ) y, en consecuencia, tienen la capacidad potencial para el servicio a altas temperaturas. Entre sus aplicaciones se incluyen los filamentos para los focos de luz, generadores de energía nuclear y equipos para procesamientos químicos. Dentro del grupo de metales refractarios tenemos al niobio, molibdeno, tantalio y el wolframio (tungsteno). Los metales refractarios comienzan a oxidarse entre  $200$  y  $425^\circ\text{C}$  y rápidamente se contaminan y fragilizan. En consecuencia, se deben tomar precauciones especiales durante la fundición, el trabajo en caliente, la soldadura o en la metalurgia de polvos.

Los metales, además, deben protegerse durante su servicio a altas temperaturas. Por ejemplo un filamento de tungsteno de un foco de luz está protegido por el vacío. Para ciertas aplicaciones, los metales pueden estar recubiertos con una capa de siliciuro o aluminuro. El recubrimiento debe tener una temperatura de fusión elevada, ser compatible con el metal refractario, actuar como una barrera a la difusión para evitar que los contaminantes lleguen hasta el metal subyacente y tener un coeficiente de dilatación térmica similar al del metal refractario. Mediante las aleaciones se obtienen grandes incrementos en las propiedades mecánicas tanto a la temperatura ambiente como a temperaturas elevadas. El tungsteno aleado con el hafnio, el renio y el carbono pueden funcionar hasta  $2100^\circ\text{C}$  (Askeland & Phulé, 2004). A continuación se hace una descripción de los metales que pertenecen a esta clasificación de metales refractarios.

**El molibdeno:** El molibdeno es de color gris plateado, tiene un alto punto de fusión ( $2623^\circ\text{C}$ ) y una densidad de  $10,22\text{ g/cm}^3$ . Es rígido, fuerte y tiene alta resistencia a la corrosión y se usa tanto el metal puro como en aleación (Biblioteca digital de la Universidad de Chile, 2010).

- **Producción de molibdeno:** El molibdeno como elemento principal o como subproducto, se encuentra en minas de baja ley y antes de su empleo como producto industrial o metalúrgico debe someterse a operaciones y procesos de beneficio y concentración para liberar la especie mineral, molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ) que es prácticamente la única de importancia económica. Obtenida la molibdenita, se somete a procesos pirometalúrgicos

e hidrometalúrgicos para transformarla en los productos correspondientes que emplea la industria (Biblioteca digital de la Universidad de Chile, 2010).

- **Especificaciones del molibdeno:** El molibdeno se utiliza como materia prima para obtener aleaciones de acero resistentes a altas temperaturas y presiones, por lo que se utiliza en la construcción de piezas de aviones y piezas forjadas de automóviles (Sociedad Nacional de minería, petróleo y energía, 2010). La principal aleación es la TZM, que contiene pequeñas cantidades de titanio y circonio (menos del 1% total) el molibdeno y sus aleaciones poseen buena resistencia a altas temperaturas, razón importante para muchas de sus aplicaciones que incluyen escudos contra calor, elementos de calentamiento, electrodos para soldadura, dados para fundición en dados y partes de cohetes. Además de estas aplicaciones, el molibdeno se usa como elemento de aleación con otros metales, tales como los aceros y las superaleaciones (Groover, 1997).

**El tungsteno:** Este tiene el punto de fusión más alto entre los metales (3410°C) y es uno de los más densos 19,25g/cm<sup>3</sup>. Es también el más rígido y duro de todos los metales puros (Groover, 1997).

- **Producción de tungsteno:** No se encuentra en estado nativo. Los minerales principales son la wolframita y scheelita. Otros son hübnerita, ferberita, stolzita, tungstita u ocre de tungsteno (WO<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O), cuprotungstita [CuWO<sub>4</sub>], tungstenita (WS<sub>2</sub>). El metal se obtiene comercialmente mediante reducción del óxido (WO<sub>3</sub>) con hidrógeno o carbono a 1200°C. El polvo obtenido se prensa y sinteriza. Se purifica mediante fusión por zonas (Wolframio, 2011).
- **Especificaciones del tungsteno:** Su aplicación más familiar es el filamento de las lámparas incandescentes. Las aplicaciones de tungsteno se caracterizan típicamente por sus altas temperaturas de operación, como partes de motores para cohetes y aviones de retropropulsión, así como electrodos para soldadura de arco. El tungsteno se usa ampliamente como elemento de aceros de herramienta, aleaciones resistentes al calor y carburo de tungsteno. (Groover, 1997).


**El niobio:** Este metal tiene un punto de fusión de 2476°C y una densidad de 8,57 g/cm<sup>3</sup>. Presenta un aspecto gris brillante, pero al estar a temperatura ambiente durante un largo período adquiere una coloración azul (Nowak & Ziolk , 1999).

- **Producción de niobio:** Este elemento no se encuentra en estado natural, casi siempre está acompañado de tántalo. Las principales fuentes minerales son: niobita (o columbita), niobita-tantalita y euxenita o policrasa [(Y, Ce, Er, U, Th, Ca,..)(Nb, Ta, Ti, Fe)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>], samarskita ((Y,Er,Ca,Fe,Mn,Sn,W,U,Ce)[(Nb,Ta)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sub>3</sub>), fergusonita [(Nb,Ta)YO<sub>4</sub>]. Grandes cantidades de niobio se han encontrado asociadas con rocas silicocarbonatadas (carbonatitas). La obtención del metal implica una primera etapa de separación del tántalo mediante disolventes y la transformación en Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Éste se reduce en dos etapas con carbón; en la primera, a 800°C, se forma NbC, que en la segunda, a 2000°C, actúa como reductor del óxido y se produce el metal. (Niobio, 2011).

- **Especificaciones del niobio:** La mayor parte del niobio se usa en aceros inoxidable especiales, en aleaciones de alta temperatura y en aleaciones superconductoras como  $Nb_3Sn$ . El niobio también se utiliza en pilas nucleares, pero la aplicación más importante es como elemento de aleación para la construcción de máquinas y gaseoductos de alta presión. (Niobio, 2011).

**El tantalio** (Tantalio, 2011): Este metal tiene un punto de fusión de  $3017^{\circ}C$  y una densidad de  $16,65 \text{ g/cm}^3$ . El tántalo es un metal gris, brillante, pesado y muy duro. Al tomar agua o nitrógeno se vuelve quebradizo. Cuando está puro es muy dúctil y puede estirarse en alambres finos que se usan como filamentos para evaporar metales tales como aluminio.

- **Producción de tantalio:** Este elemento no se encuentra en estado natural. Sus minerales coinciden con los del niobio, del que es difícil de separar. El principal es la columbita-tantalita. Otros son los mencionados en el niobio. La separación de tántalo y niobio es un proceso complicado que consta de varias etapas que implican la disolución con ácido fluorhídrico y la precipitación de  $K_4(Ta_4O_5F_{14})$ , mientras que el correspondiente compuesto de niobio queda en disolución.
- **Especificaciones del tantalio:** Se utiliza fundamentalmente para la obtención de aleaciones con propiedades tales como: alto punto de fusión, resistentes, dúctiles, inoxidable, etc. Es un buen "getter" (afinador de vacío, es decir, para eliminar trazas de gases) a altas temperaturas (filamentos de lámparas) y las películas de óxido de tántalo son estables y tiene buenas propiedades dieléctricas, por lo que (el 60%) se emplea para fabricar condensadores electrolíticos y partes de hornos de vacío. Otros usos incluyen equipos químicos (revestimiento, vasijas inoxidable), reactores nucleares, aviones, cohetes. Al ser inerte a los líquidos corporales y no producir irritación se usa en la fabricación de material quirúrgico. Entre sus compuestos el óxido de tántalo ( $Ta_2O_5$ ) tiene un elevado índice de refracción y se emplea en la fabricación de vidrios especiales para lentes de cámaras.

A microscopic image of a ceramic material structure, showing a complex, interconnected network of fibers or filaments. The image is rendered in shades of blue and black. A white rectangular text box is overlaid on the center of the image.

## 1.3 Materiales cerámicos para el diseño

Los materiales cerámicos son un compuesto inorgánico que está conformado por la unión de elementos atómicos metálicos y no metálicos (con frecuencia el no metal es el oxígeno) mediante enlaces covalentes e iónicos; es decir, uniones interatómicas fuertes y estables (Saja Sáez, Rodríguez Pérez, & Rodríguez Méndez, 2005). Los materiales cerámicos pueden aparecer en la naturaleza en forma de óxidos o como materiales naturales; el cuerpo humano tiene la capacidad de fabricar hidroxiapatita, un material cerámico que se encuentra en los huesos y en los dientes (Askeland & Phulé, 2004). En la figura 5 se observa una posible superficie de un material cerámico.

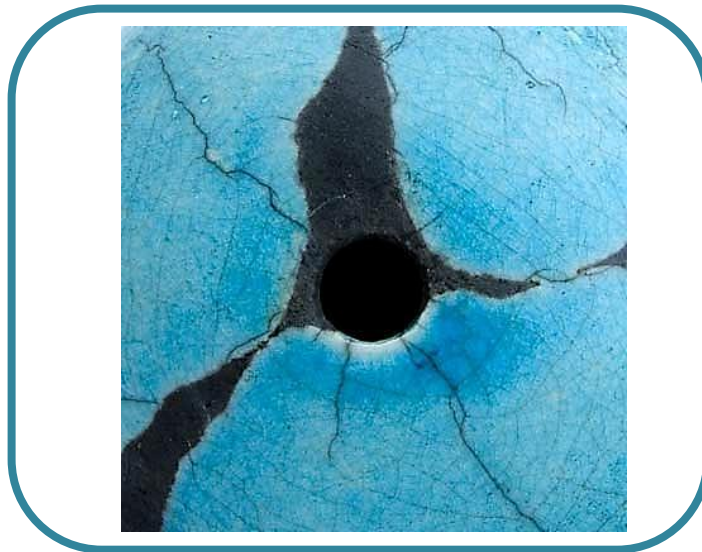


Figura 5: Superficie de un material cerámico (BYG, 2009)

Las cerámicas se pueden reconocer por cuatro características básicas: su composición, su estructura, sus productos y su función como se puede ver en la tabla 15,16,17,18 respectivamente. (Peña Andrés, 2009).

**Composición de las cerámicas:** Los materiales cerámicos se pueden clasificar según su naturaleza química como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15: Cerámicas en función de su composición (Peña Andrés, 2009).

COMPONENTES PRINCIPALES	TIPOS	EJEMPLOS
<b>Óxidos</b> (Oxígeno + Otro elemento)	<b>Silicatos</b>	Puros: SiO <sub>2</sub> (Sílice), cristalina o vítrea. Hay tres formas cristalina: cuarzo, cristobalita y tridimita; las dos primeras son las más comunes. La forma vítrea se llama "cuarzo fundido"
		Parcialmente sustituidos: aluminosilicatos (SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Otros). Son las cerámicas tradicionales
	<b>No silicatos</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , BaO, BeO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , UO <sub>2</sub> , GeO <sub>2</sub> , WO <sub>3</sub> , etc.
<b>No óxidos</b> (No metal + otro elemento)	<b>Binarios</b>	Carburos (SiC, B <sub>4</sub> C <sub>3</sub> , WC, etc.)
		Boruros (ZrB <sub>2</sub> , etc.)
		Nitruros (BN, Si <sub>3</sub> Na)
		Fosfuros (AlP)
		Siliciuros (MoSi <sub>2</sub> )
		Calcogenuros (S + otros)
		Halogenuros (F, Cl, Br o I + otro)
		Arseniuros (GaAs)
	<b>Ternarios, etc.</b>	Los anteriores, parcialmente sustituidos por otros elementos y también mezclas de óxido como el "Sialón" (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )

**Estructura de las cerámicas:** Los diferentes átomos que forman un material determinan las propiedades finales del material en servicio. Es por esa razón que el tipo de enlace y de microestructura determinan las propiedades de estas cerámicas. Propiedades como la tenacidad, la transparencia y otras. En la tabla 16 se muestran ejemplos objetuales de acuerdo a su microestructura y enlace atómico.

Tabla 16: Cerámicas en función de su estructura (Peña Andrés, 2009).

TIPO		ENLACE	MICROESTRUCTURA	EJEMPLOS
OXIDOS	SILICATOS	Covalente Si-O	Cristalina	Cuarzo
			Amorfa	Vidrio de SiO <sub>2</sub>
		Covalente + Iónico	Cristalina	Cerámica tradicional
			Amorfa	Vidrio tradicional
	NO SILICATOS	Covalente	Amorfa	Vidrio de Boro
		Covalente + Iónico alto %	Cristalina	MgO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		Covalente + Iónico	Cristalina	Yeso
		Covalente + Iónico	Amorfa	Vidrio boratos alcalinos
NO ÓXIDOS	Covalente	Cristalina	Diamante, SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , B <sub>4</sub> Si <sub>3</sub> , MoSi <sub>2</sub>	
	Covalente	Amorfa	C y S vítreos; vidrios calcogenuros (diferencia de conductividad eléctrica entre una fase vítrea y otra cristalina)	
	Iónico	Cristalina	KBr, CsF, etc.	
	Covalente + Metálico	Cristalina	Cermets	

**Productos con cerámica:** Una vez la cerámica haya sido sometida a procesos de cocción se puede clasificar en subgrupos y los productos a que dan lugar. Esto se puede observar en la tabla 17.

Tabla 17: Cerámicas en función de sus productos (Peña Andrés, 2009)

DENOMINACIÓN	MATERIALES MINERALES	MATERIALES QUÍMICOS	DEFINICIÓN Y EJEMPLOS
<b>PASTA ROJA</b>	Arcillas Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Productos de arcilla cocida, generalmente porosos: ladrillos, tejas.
<b>PASTA BLANCA</b>	Caolín, feldespato, cuarzo.	Fritas y pigmento de óxidos.	Lozas, porcelanas, revestimiento, sanitarios.
<b>REFRACTARIOS</b>	Magnesita, cromita, cuarzo, sillimanita, circón.	Carburo de silicio, alúmina en polvo.	Recipientes de cocina, recubrimiento interno de hornos.
<b>VIDRIOS</b>	Sílice, feldespato, caliza, dolomita, bórax.	Carbonatos y sulfatos de sodio, colorantes y decolorantes.	Productos no cristalinos, generalmente translúcidos: vidrios planos, envases, vajilla, fibras, esmaltes.
<b>CEMENTOS</b>	Caliza, arcilla, yeso.	Resinas.	Productos que representan características aglomerantes y adhesivas al ser mezcladas con agua como el cemento pórtland, el cemento aluminoso que tiene caliza y bauxita. También está el yeso y la cal.
<b>ABRASIVOS</b>	Corindón, cuarzo, diamante.		Productos de alta dureza usados para cortar y pulir: esmeril, carburo de silicio, diamante, carburos metálicos.
<b>CERÁMICAS ESPECIALES</b>		Compuestos puros como Ni, Ti, Zr, etc.	Prótesis dentales, prótesis de cadera, injertos óseos.

**Función de la cerámica:** La función de la cerámica se refiere al desempeño que tiene de acuerdo a las propiedades físicas, mecánicas, óptica, etc. en diferentes aplicaciones (Ver tabla 18).

Tabla 18: Cerámicas en función de su desempeño (Peña Andrés, 2009)

FUNCIÓN	EJMPLOS Y USOS
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	Aislante (porcelanas, $Al_2O_3$ ).
	Ferroléctricos ( $BaTiO_3$ ).
	Piezoeléctricos TPZ.
	Semiconductores (óxidos de metal de transición).
MAGNÉTICA	Ferritas: memorias, sensores.
ÓPTICA	Lentes, prismas (vidrios): oftalmología e instrumental óptico.
	Translúcidos ( $Al_2O_3$ )
	Láser
QUÍMICA	Sensores de gases ( $ZrO_2$ , $SnO_2$ ): alarmas
	Sensores de humedad ( $MgCrO_4$ ): hornos microondas
	Soportes para catalizadores ( $Al_2O_3$ )
	Electrodos (grafito, titanatos, boruros)
TÉRMICA	Aislación térmica (refractarios aislantes): hornos
MECÁNICA	Elementos estructurales (cerámica roja): construcción
	Cementos, hormigones: construcción
	Abrasivos ( $Al_2O_3$ , diamante, $TiC$ , $WC$ , etc)
NUCLEAR	Combustibles nucleares ( $UO_2$ , $PuO_2$ )
	Protección (vidrios con $PbO$ , grafito, $SiC$ , $Al_2O_3$ )
BIOLÓGICA	Prótesis óseas y dentales; recubrimientos ( $Al_2O_3$ )
	Huesos artificiales (Biovidrio)

**Clasificación de los cerámicos**

Los materiales cerámicos se encuentran divididos en los siguientes grupos:

**Cerámicos tradicionales**

Los cerámicos tradicionales son todos aquellos compuestos en los que la materia prima principal es la arcilla y el caolín. Y las materias primas secundarias son la arena, el cuarzo y el feldespato. Los productos considerados dentro de esta familia son la porcelana fina, porcelana para aislantes eléctricos, ladrillos, tejas, baldosas y también vidrios y cerámicas refractarias. La fabricación de estas cerámicas está basada en conocimientos empíricos, muchos de ellos rectas que se han ido pasando de padres a hijos. No obstante, actualmente, se han realizado progresos importantes relacionados con el conocimiento fundamental de las propiedades y con los procesos de fabricación de estos materiales(Saja Sáez, Rodríguez Pérez, & Rodríguez Méndez, 2005).

### Materias primas de los cerámicos tradicionales

Los silicatos minerales como las arcillas, la sílice o dióxido de silicio, los óxidos minerales, el caolín y el cuarzo, son algunas de las sustancias más abundantes en la naturaleza y hacen parte de las materias primas para la cerámica tradicional (Groover, 1997). En la tabla 19 se pueden ver los elementos más abundantes en la corteza terrestre.

Tabla 19: Elementos comunes de la corteza terrestre (Groover, 1997).

ELEMENTOS DE LA CORTEZA TERRESTRE	PORCENTAJE EN LA CORTEZA TERRESTRE
OXÍGENO	50%
SILICIO	26%
ALUMINIO	7.6%
HIERRO	4.7%
CALCIO	3.5%
SODIO	2.7%
POTASIO	2.6%
MAGNESIO	2.0%

Estos compuestos sólidos y cristalinos se formaron y mezclaron en la corteza terrestre hace millones de años mediante complejos procesos geológicos. A continuación se describirán algunas materias primas utilizadas en la fabricación de la cerámica tradicional:

**Las arcillas:** Son las materias primas que se usan más ampliamente en la cerámica. Consisten en finas partículas de silicato de aluminio hidratado ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) o también conocido como caolín, que se convierten en una sustancia plástica y fácil de moldear cuando se mezcla con agua. El  $\text{SiO}_2$  le otorga propiedades refractarias a las arcillas debido a que es un material que funde a muy altas temperaturas ( $1411^\circ\text{C}$ ).

Otras arcillas minerales varían en composición en términos de proporciones de los ingredientes básicos y por la adición de otros elementos como el magnesio, el sodio y el potasio. La arcilla y el caolín aportan a las cerámicas propiedades plásticas y refractarias. Además, se utilizan aditivos como arena, cuarzo y feldespato como desengrasantes ya que suavizan las contracciones de la cocción y de esta manera el agrietamiento. También se pueden agregar materiales fundentes que disminuyen la refractariedad como son los feldespatos y otros que la aumentan como son el corindón, la bauxita y la alúmina, además de colorantes que básicamente son compuestos metálicos.

A parte de tener plasticidad, una segunda característica que hace útil a la arcilla es que cuando se calienta a una temperatura suficientemente elevada, se transforma en un material denso y fuerte. El calor de tratamiento se conoce como *cocido*. Las temperaturas adecuadas del proceso dependen de la composición de la arcilla (Groover, 1997). Las arcillas que cuecen a baja temperatura son más porosas, pues eliminan menor cantidad de agua que las que cuecen a mayores temperaturas. Debido a la presencia de óxido de hierro, carbonato cálcico y otros compuestos en las arcillas, estas presentan diversas coloraciones después de la cocción (Peña Andrés, 2009).

**La sílice (SiO<sub>2</sub>) u óxido de silicio:** Es otra materia prima importante en la cerámica tradicional. Es el principal componente del vidrio y un ingrediente importante en otros productos cerámicos incluyendo la cerámica blanca, los refractarios y los abrasivos. La sílice se encuentra disponible en la naturaleza en varias formas, la más importante es el *cuarzo*. La fuente principal del cuarzo es la *arenisca*. La abundancia de la arena y su relativa facilidad de procesamiento significa que la sílice tiene bajo costo; es también dura y químicamente estable. Estas características explican su amplio uso en los productos cerámicos (Groover, 1997).

**El cuarzo:** El cuarzo se encuentra en la naturaleza como una sustancia cristalina y amorfa. En forma cristalina las más comunes son el cuarzo, el cristal de roca y la amatista. En configuración amorfa esta la sílice, el pedernal, la sílex y el ópalo. El cuarzo es un mineral que se utiliza abundantemente en distintos procesos productivos, en virtud de sus características refractarias y de dureza. Se emplea en gran cantidad en la industria de la cerámica y, en particular, para los esmaltes cerámicos, en la siderurgia, en las industrias del vidrio, de la pintura y los barnices, de los abrasivos, de los materiales refractarios y en muchas otras más, debido a sus propiedades piezoeléctricas, y de permeabilidad a los rayos ultravioleta. Además es la materia prima con la que se prepara el carburo de silicio, un abrasivo de prima calidad (Fabricación de piezas cerámicas).

**El feldespatos:** El feldespatos se refiere a cualquier mineral cristalino de varias clases que consiste en silicato de aluminio combinado con minerales como la ortosa (silicato aluminico potásico), la albita (silicato aluminico sódico) y la anortita (silicato aluminico cálcico). Las mezclas de arcilla, sílice y feldespatos se usan para hacer artículos de loza, la porcelana china y otras piezas para el servicio de mesa. Los feldespatos funden a bajas temperaturas y su función es ser aglutinante de los distintos constituyentes (Groover, 1997). Como se mencionó anteriormente, hace función de desengrasante. Los colores habituales que presenta son: blanco, rosa, amarillo, verde o rojo. A bajas temperaturas se comporta como refractario, mientras que a altas se utiliza como fundente. Las aplicaciones tradicionales son vajillas, sanitarios, revestimientos y esmaltes (Peña Andrés, 2009).

**La alúmina:** La mayoría de la alúmina se procesa del mineral *bauxita* la cual es una mezcla impura de óxido de aluminio hidratado e hidróxido de aluminio, más componentes similares de hierro o manganeso. La *bauxita* también es la fuente principal del aluminio metálico. Una forma más pura, pero menos común de la alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) es el mineral llamado *corindón*, el cual contiene alúmina en cantidades masivas. Formas ligeramente impuras de cristales de corindón son las piedras preciosas conocidas como zafiro y rubí (Groover, 1997). Originalmente la alúmina se desarrolló para tubos refractarios y crisoles de alta pureza para uso a altas temperaturas. Se emplea para construir hornos, aislantes y como biomaterial para reconstrucciones maxilofaciales (Peña Andrés, 2009).

**Productos cerámicos tradicionales**

Los minerales analizados anteriormente son los ingredientes de una gran variedad de productos cerámicos tradicionales. En la tabla 20 se resumen algunos productos con sus respectivas materias primas(Groover, 1997).

Tabla 20: Resumen de productos cerámicos tradicionales(Groover, 1997)

PRODUCTOS	MINERALES Y MATERIAS PRIMAS
Alfarería de mesa	Arcilla + Sílice+ Feldespato
Porcelana	Arcilla + Sílice+ Feldespato
Ladrillos, tejas	Alúmina + Sílice+ Otros
Refractarios	Alúmina + Sílice
<b>Abrasivos:</b> 1.Carburo de silicio 2.Alúmina	1.Sílice + Coque 2.Bauxita o alúmina

**Cerámicos avanzados**

Los cerámicos avanzados son materiales inorgánicos policristalinos, generalmente se obtienen con materias primas naturales de gran pureza (99.99%) por procesos de síntesis con partículas submicrónicas y conformadas mediante altas presiones y temperaturas de sinterización que le confieren altas prestaciones técnicas(Peña Andrés, 2009). Los cerámicos avanzados son aquellos que han sido desarrollados en las últimas décadas de forma sintética, mejorando las técnicas de procesamiento que han suministrado finalmente un gran control sobre la estructura y propiedades de los materiales cerámicos. En general los nuevos materiales cerámicos se basan en compuestos diferentes a las variedades del silicato de aluminio, el cual es el principal componente de los cerámicos tradicionales.

**Materias primas de los cerámicos avanzados**

Los nuevos materiales cerámicos son químicamente más simples que los cerámicos tradicionales, por ejemplo, óxidos, carburos, nitruros y boruros o sales de boro. La línea divisoria entre lo tradicional y lo nuevo en cerámica es en ocasiones confusa, ya que el óxido de aluminio y el carburo de silicio se incluyen en el grupo tradicional. La distinción en estos casos se basa más en los métodos de procesamiento que en la composición química (Groover, 1997). A continuación se describirán algunas materias primas utilizadas en la fabricación de la cerámica avanzada.

**Óxidos:** Cerámicas que tienen oxígeno en su composición química se consideran como óxidos. El óxido más importante es la alúmina. Aunque también hace parte de los cerámicos tradicionales, la alúmina se produce hoy sintéticamente a partir de la bauxita, usando un método de horno eléctrico. La resistencia y la tenacidad de la alúmina se ha mejorado con respecto a su contraparte natural a través del control del tamaño de partículas e impurezas, refinamientos en los métodos de procesado y mezcla con pequeñas cantidades de otros ingredientes cerámicos (Groover, 1997).

**Carburos:** Cerámicas que se derivan del Carbono. Algunos de los carburos son el carburo de silicio (SiC), el carburo de tungsteno (WC), el carburo de titanio (TiC), el carburo de tantalio (TaC) y el carburo de cromo (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>). El carburo de silicio también hace parte de los cerámicos tradicionales,

aunque es un cerámico manufacturado. El método para su producción se desarrolló hace más de un siglo, y desde entonces se incluye en el grupo de cerámicos tradicionales. Este material se utiliza como abrasivo, como aditivo en la fabricación del acero y como aislante térmico.

El WC, TiC, y TaC son apreciados por su dureza y resistencia al desgaste en las herramientas de corte y otras aplicaciones que requieren estas propiedades. El WC no se encuentra en la naturaleza; fue el primero que se desarrolló y es el material más importante y ampliamente usado del grupo de los carburos. Este se produce por carburización de polvos de tungsteno que han sido extraídos directamente de los minerales del metal como la *wolframita* ( $\text{FeMnWO}_4$ ) y la *scheelita* ( $\text{CaWO}_4$ ). El carburo de titanio se produce por carburización de los minerales *rutilo* ( $\text{TiO}_2$ ) o *ilmenita* ( $\text{FeTiO}_3$ ). El carburo de Tantalio se hace por carburización de polvos de tantalio puro.

El carburo de cromo es más adecuado para aquellas aplicaciones donde la resistencia a la oxidación y la estabilidad química son importantes. ( $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ) se prepara por carburización del óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) como compuesto inicial. La fuente usual del carbón en todas estas reacciones es el negro de humo. Los carburos analizados anteriormente, a excepción del SiC, deben combinarse con un aglomerante metálico como el cobalto o el níquel a fin de fabricar un producto sólido útil. En efecto, los polvos de carburo aglomerados en una estructura metálica crean lo que se conoce como: carburo cementado, un material compuesto como cermet (compuesto de cerámica y metal).

**Nitruros** (Groover, 1997): Cerámicas que se derivan del Nitrógeno. Los nitruros cerámicos son los más frágiles y funden a altas temperaturas (pero no tan altas como los carburos). Los nitros más importantes son el nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), el nitruro de boro (BN) y el nitruro de titanio (TiN).

- **Nitruro de silicio:** Presenta aplicaciones estructurales potenciales a altas temperaturas. Se oxida alrededor de los  $1200^\circ\text{C}$  y se descompone químicamente cerca de los  $1900^\circ\text{C}$ . Tiene propiedades como baja expansión térmica y buena resistencia a los choques térmicos, a la termofluencia y a la corrosión por metales no ferrosos fundidos. Estas características han permitido la aplicación de estos materiales cerámicos en las turbinas de gas, motores de cohetes y crisoles para fundición.
- **Nitruro de boro:** Existe en varias estructuras similares a las del carbono. Las formas importantes del nitruro son: hexagonal, similar al grafito y cúbica, igual al diamante; de hecho, su dureza es comparable a la del diamante. A esta última estructura se le da el nombre de nitruro cúbico de boro y de *borazón*, simbolizado como CBN. El CBN se produce calentando el NB hexagonal a muy altas presiones. Debido a su alta dureza se utiliza en herramientas de corte y en ruedas abrasivas. A diferencia de las herramientas de diamante para el maquinado de piezas, el CBN son apropiadas para el corte de aceros.
- **Nitruro de titanio:** Las propiedades son similares a las de los otros nitruros, con la diferencia que éste si es conductor térmico y eléctrico. El TiN, tiene alta dureza, buena resistencia al desgaste y bajo coeficiente de fricción con los metales ferrosos. Estas propiedades lo hacen ideal como recubrimiento superficial de las herramientas de corte. El espesor de los recubrimientos es de  $0.006\text{mm}$ , así que las cantidades que se usan de este material son bajas (Groover, 1997).

**Oxinitruro:** Es un nuevo material cerámico relacionado con el grupo de nitruros y óxidos llamado *sialón*. Este material está compuesto por sílice, alúmina, oxígeno y nitruro de aluminio. Las propiedades son similares a las del nitruro de silicio, pero tiene mejor resistencia a la oxidación y a las altas temperaturas. Se puede decir que, entre las cerámicas de ingeniería, es una de las más duras, pero no es la más tenaz (Peña Andrés, 2009).

Las cerámicas avanzadas o de ingeniería se pueden dividir en tres categorías fundamentales que son: Cerámicas estructurales, superconductoras y ferroeléctricas (Peña Andrés, 2009).

**Cerámicas avanzadas estructurales**

Son todas aquellas cerámicas que sustituyen a otros materiales que forman parte de estructuras mecánicas, sometidas a esfuerzos térmicos, de fatiga, a ataques químicos y/o ambientes corrosivos. Estos materiales poseen propiedades únicas adicionales en cuanto a la combinación de resistencia mecánica y otras propiedades a altas temperaturas. En la tabla 21 se encuentran las cerámicas estructurales clasificadas en oxídicas, la cuales se caracterizan por tener un color blanco y en no oxídicas, las cuales se caracterizan por tener un color negro.

Tabla 21: Clasificación de las cerámicas estructurales (Peña Andrés, 2009)

CERÁMICAS OXÍDICAS COLOR: BLANCO	CERÁMICAS NO OXÍDICAS COLOR: NEGRO
Alúmina	Carburo de Silicio
Sílice	Carburo de Boro
Mullita	Carburo de Tungsteno
Espinela	Carburo de Titanio
Óxidos de magnesio	Carburo de Molibdeno
Óxidos de Berilio	Nitruro de Silicio
Óxidos de Zirconio	Sialón
Óxidos de Torio	Nitruro de Boro
Óxidos de Cerio	Boruro de Circonia
Óxidos de Titanio	Boruro de Titanio

**Cerámicas avanzadas superconductoras**

La superconductividad es una propiedad que muestran ciertos materiales, conocidos como superconductores, que consiste en conducir la corriente eléctrica sin resistencia por debajo de una determinada temperatura, llamada temperatura crítica ( $T_c$ ), a partir de la cual, si se sigue enfriando una sustancia, el material se vuelve superconductor, lo que indica que pierde resistencia eléctrica. Hay muchos elementos puros que son superconductores, aproximadamente la mitad, pero las condiciones necesarias para que lo sean son muy severas respecto a la temperatura y, en algunos casos, también respecto a la presión. Las cerámicas superconductoras están en estudio permanente por el hecho de presentar las temperaturas críticas más elevadas, por encima de la del nitrógeno que es  $-147^\circ\text{C}$ .

Desde que se descubrió la primera cerámica superconductora de alta temperatura,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (YBCO), se han estudiado multitud de cerámicas de la misma familia y afines que también superconducen a altas temperaturas, entre las cuales hay que destacar las de los sistemas Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO). En la siguiente tabla se muestran algunos de los principales óxidos superconductores con sus respectivas temperaturas críticas.

Tabla 22: Temperaturas críticas de algunas cerámicas superconductoras de altas temperaturas (Peña Andrés, 2009).

CERÁMICAS AVANZADAS SUPERCONDUCTORAS	TEMPERATURA CRÍTICA (°C)
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$	-182
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$	-180
$\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	-172
$\text{Tl}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	-163
$\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Ca}_2\text{CuO}_{10}$	-163
$\text{Tl}_2\text{Ca}_2\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	-146
$\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$	-139
$\text{Hg}_{0.8}\text{Tl}_{0.2}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8.33}$	-135

En la tabla23 se encuentra un resumen de las principales aplicaciones de los superconductores a gran escala y en electrónica.

Tabla 23: Aplicaciones de los superconductores (Peña Andrés, 2009).

SUPERCONDUCTORES A GRAN ESCALA	SUPERCONDUCTORES EN ELECTRÓNICA
<b>Cables de potencia</b>	Detectores de microondas
<b>Transformadores</b>	Detectores de rayos X
<b>Motores</b>	Patrones de voltaje para metrología e industria
<b>Sistemas de levitación magnética</b>	Circuitos digitales y microprocesadores
<b>Imágenes por resonancia magnética</b>	Filtros de microondas para comunicación sin cable.

### Cerámicas avanzadas ferroeléctricas

La capacidad de ciertos materiales para retener información en su estructura cristalina sin necesidad de estar conectados a una fuente de energía, como pilas o corriente eléctrica se conocen ferroeléctricos aunque no tengan hierro. La información es almacenada gracias a la polarización eléctrica que poseen, que puede ser activada externamente por un voltaje, y aun cuando éste sea retirado, la polarización persiste. Estos materiales generalmente son cerámicos y su uso masivo está en las memorias portátiles. Los materiales ferroeléctricos que más se destacan se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 24: Materiales ferroeléctricos (Peña Andrés, 2009)

FÓRMULA QUÍMICA DEL MATERIAL	ABREVIATURA	NOMBRE DEL MATERIAL
$(\text{Sr},\text{Ba})\text{TiO}_3$	SBT	Titanato de bario y estroncio
$\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$	PZT	Titanato zirconato de plomo
$\text{BaTiO}_3$	BTO	Titanato de bario
$\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$	PLZT	Titanato zirconato de plomo-lantano
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$	BiT	Titanato de bismuto

Todos estos materiales son sintéticos y pueden ser ferroeléctricos y piezoelectricos al mismo tiempo. La piezoelectricidad se refiere a la aparición de un voltaje eléctrico debido a que el material realiza un esfuerzo mecánico. La ferroelectricidad es poder retener información, es decir, retener bits dejados en una memoria sin tener una fuente externa. Por ejemplo: un computador

se apaga y pierde todo lo que hay en la memoria RAM; en cambio una memoria extraíble conserva la información a pesar de no recibir energía eléctrica de una pila u otro elemento.

### El vidrio

El término vidrio describe un estado de la materia, así como un tipo de material cerámico. Como estado de la materia el término se refiere a la estructura amorfa de un material sólido. El estado vítreo ocurre en un material cuando se ha dado un tiempo insuficiente durante el enfriamiento desde una condición fundida para permitir que se forme una estructura cristalina. Como tipo de material, el vidrio es un compuesto inorgánico no metálico que se solidifica en una condición rígida sin cristalizar; es un material cerámico que se encuentra en el estado vítreo como material sólido.

El principal ingrediente en casi todos los vidrios es la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y forma parte de los minerales de cuarzo, de la arenisca y la arena sílica. La sílice es el silicato más sencillo ( $\text{SiO}_2$ ) y tiene tres formas cristalinas que son el cuarzo, la cristobalita y tridimalita. El vidrio de sílice tiene un coeficiente de expansión térmica muy bajo y es eléctricamente neutro, por tanto, resistente al choque térmico. Estas propiedades son ideales para aplicaciones a temperaturas elevadas; por consiguiente, el pyrex y los utensilios de laboratorio diseñados para calentar se fabrican con altas proporciones de vidrio de sílice.

Para reducir el punto de fusión del vidrio con objeto de facilitar su procesamiento y controlar sus propiedades, la mayoría de las composiciones comerciales incluyen otros óxidos además de la sílice. La razón por la cual se usa el  $\text{SiO}_2$  es porque se transforma naturalmente al estado vítreo después de enfriarse desde el estado líquido, mientras que la mayoría de los cerámicos cristalizan en la solidificación. El vidrio se utiliza en ventanas, bombillas, envases, recipientes, fibras de vidrio, vidrios ópticos (Groover, 1997).

### Materias primas de los vidrios

Existen diferentes grupos de materias primas con base a la forma en que actúan durante la fusión del vidrio, ellos son (Peña Andrés, 2009):

**Vitrificantes:** Son materias que por la acción de la temperatura pasan de una estructura cristalina a una estructura amorfa. La cristalinidad en este caso no se da, ya que hay una alta viscosidad que no permite el movimiento de las moléculas. La sílice introducida en forma de arena aunque tiene su punto de fusión muy alto ( $1720^\circ\text{C}$ ) es la materia vitrificante más utilizada.

- **Oxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Vidrios de sílice:** Cuando un vidrio aumenta el contenido de sílice aumenta la resistencia mecánica, la estabilidad química, la resistividad eléctrica, la resistencia al choque térmico, la transparencia a la radiación, el punto de reblandecimiento y la viscosidad.
- **Oxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ). Vidrios de borosilicato:** No existen vidrios industriales de este tipo  $\text{B}_2\text{O}_3$  como formador de red único, sino que siempre irá unido al  $\text{SiO}_2$ . El óxido bórico rebaja la temperatura de fusión, reduce la viscosidad, disminuye el coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ ), aumenta la resistencia al choque térmico y mejora la estabilidad química.

- **Pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Vidrios de fosfato:** Puede ser formador de red como único compuesto sin necesidad del SiO<sub>2</sub>. Es de nueva generación para óptica por su capacidad de transmitir luz. Los vidrios obtenidos con este óxido son biodegradables y son vidrios solubles.

**Fundentes:** Los fundentes se utilizan para rebajar el punto de fusión y eliminar residuos que quedan después de ésta. Lo que hacen los fundentes a nivel interno del material es disminuir la cohesión de la red, aumentar el coeficiente de dilatación térmica, disminuir la viscosidad, la resistencia mecánica y la estabilidad química. Algunos ejemplos de estos óxidos son los siguientes.

- **Oxido de potasio (K<sub>2</sub>O):** Es el acompañante del plomo y el bario en los vidrios que tienen alto índice de refracción, como es el caso de los vidrios ópticos. El óxido de potasio aumenta la viscosidad, disminuye la estabilidad química, son blandos y se cortan con más facilidad que los que contienen Na<sub>2</sub>O, disminuye la densidad, aumenta el brillo y el índice de refracción.
- **Oxido de litio (Li<sub>2</sub>O):** Este óxido disminuye el coeficiente de dilatación térmica, la reactividad química, la temperatura de fusión y la viscosidad. Se utiliza en equipos de rayos X y tubos de televisores.

**Estabilizantes:** Los estabilizantes ayudan a compensar el efecto negativo por la incorporación de fundentes que básicamente son deterioros reticulares. Los estabilizantes se unen a la red disminuyendo la conductividad eléctrica y aumentando la resistencia hidrolítica (dificultad de asociarse y romper moléculas de agua) y a los ácidos.

- **Oxido de calcio o cal (CaO):** Este es el tercer componente cuantitativamente en los vidrios de SiO<sub>2</sub> y cumple con lo que requiere un estabilizante.
- **Oxido de magnesio (MgO):** Este óxido disminuye el coeficiente de dilatación y aumenta la resistencia al choque térmico. Mejora la dureza y la estabilidad del vidrio, disminuye la viscosidad a temperaturas elevadas y aumenta la viscosidad a bajas temperaturas.
- **Oxido de bario (BaO):** Es el componente mayoritario en algunos vidrios ópticos y en el cristal sonoro. Inhibe la desvitrificación (tratamiento a altas temperaturas para pasar de un sistema cristalino a uno amorfo), no presenta buena estabilidad química, tiene alta sonoridad, alta densidad y elevado índice de refracción.
- **Oxido de plomo (PbO):** Este es utilizado como vitrificante, fundente y estabilizante. Se caracteriza por tener baja viscosidad a altas temperaturas, son adecuados para ser trabajados manualmente, funden con facilidad, a menor módulo de Young mayor sonoridad, tienen baja dureza y rara vez desvitrifican.

#### Descripción de los vidrios

En la tabla 25 se puede ver la composición química para diferentes productos fabricados en vidrio y en la tabla 26 el orden de los vidrios en función de su dureza y características ópticas. Esta descripción se hace para los vidrios comerciales que son utilizados actualmente.

Tabla 25: Composición química de productos comerciales fabricados en vidrio (Peña Andrés, 2009)

PRODUCTO	CANTIDAD PORCENTUAL DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS VIDRIOS							
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	OTROS
VIDRIO PARA VENTANAS	72	15	8	1	4	-	-	-
VIDRIO PARA ENVASES	72	13	10	2	2	1	-	-
VIDRIO PARA BOMBILLAS	73	17	5	1	4	-	-	-
VIDRIO AL BORO	67	8	-	12	12	-	-	ZNo
VIDRIO AL PLOMO	46	3	-	-	6	45	-	-

Tabla 26: Vidrios comerciales en función de su dureza y características ópticas (Peña Andrés, 2009).

CARÁCTERÍSTICAS DE DUREZA			CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS
SUAVE	DURO	MUY DURO	SENSIBLE A LA LUZ
CAL-SOSA (carbonato de sodio)	BOROSILICATO	SÍLICE FUNDIDA	FOTOSENSIBLE
ALCALI-PLOMO	ALUMINOSILICATO	SÍLICE 96%	FOTOCROMÁTICO

### Productos de vidrio (Peña Andrés, 2009)

#### Vidrio de ventanas (sódico-cálcico)

El vidrio de ventana, que ya se empleaba en el siglo I d.C., se fabricaba utilizando moldes o soplando cilindros huecos que se cortaban y aplastaban para formar láminas, en la actualidad, casi todo el vidrio de ventana se fabrica de forma mecánica estirándolo desde una piscina de estaño sobre la que flota el vidrio fundido. El estaño disminuye la fragilidad del vidrio. Normalmente se le añade óxido de magnesio para reducir la desvitrificación. Este tipo de vidrio es el más utilizado, es inerte, es el más fácil de fundir y fabricar, es poco resistente al choque térmico y es el más barato. Se usa en ventanas, bombillas, vajillas, botellas.

#### Vidrio al plomo

Este vidrio en vez de tener óxido de calcio tiene óxido de plomo en su composición química. El óxido de plomo aumenta el índice de refracción por la alta densidad del plomo y disminuye la temperatura de fusión, facilitando el trabajo con el vidrio. Se utiliza en tubos catódicos de televisores, lentes, joyería, ventanas decorativas, cristalería.

#### Vidrio de borosilicato

Comercialmente se conoce como Pyrex®, Kimax® o Endural®. Además del silicio, el carbonato de calcio y el carbonato de sodio utilizado en la fabricación del vidrio tradicional, se le adicional boro, el cual le da alta resistencia al choque térmico, elevada estabilidad química y bajo coeficiente de dilatación. Este tipo de vidrio es difícil de fundir y trabajar. Se utiliza en hornos, termos, microondas y productos de laboratorio.

**Vidrio de sílice (vidrio al cuarzo)**

Son vidrios que se obtienen de la fundición de la sílice o cuarzo muy puro (99,5 % de SiO<sub>2</sub>) generalmente en hornos eléctricos de resistencia, a unos 1800 °C. Comercialmente es conocido como vidrio Vicor®. Este vidrio es muy duro, entre los vidrios es el que tiene la temperatura de fusión y reblandecimiento más alta, es muy resistente al choque térmico, el coeficiente de dilatación es menor que la de vidrio Pyrex®, tiene un precio muy alto debido a su buen desempeño térmico y mecánico. Se utiliza en fibra óptica de alta calidad, en equipos de laboratorio eléctrico y químico.

**Vidrio de seguridad (Vidrio tensionado)**

Para fabricar vidrio templado térmicamente, se utiliza un método llamado temple térmico que consiste en calentar el vidrio gradualmente hasta una temperatura de reblandecimiento de entre 575°C y 635°C para después enfriarlo muy rápidamente con un chorro de aire o por inmersión en un líquido. De esta manera se consigue que la superficie del vidrio se endurezca de inmediato y quede expuesto en la superficie a tensiones de compresión y en el interior a tensiones de tracción, confiriéndole mayor resistencia estructural y al impacto que el vidrio sin tratar, teniendo la ventaja adicional de que en caso de rotura se parte en pequeños fragmentos.

**Vidrio - cerámico (Groover, 1997)**

El vidrio- cerámico es una clase de material cerámico que se produce por la conversión del vidrio en una estructura policristalina mediante un tratamiento térmico. Cuando el producto se enfría, inmediatamente se recalienta a una temperatura suficiente para provocar una densa red de núcleos cristalinos que se forman a lo largo del material. La alta densidad de los sitios de nucleación es lo que inhibe el crecimiento de los granos de los cristales individuales, conduciendo a la formación de granos de tamaño fino en el material vidrio - cerámico. Para que se dé la nucleación se requiere de agentes en la composición del vidrio tales como óxido de titanio, circonia y óxido de fósforo. Una vez iniciada la nucleación, el tratamiento térmico continúa a una temperatura más alta para provocar el crecimiento de las estructuras cristalinas.

La proporción de fase cristalina en el producto final está entre el 90% y el 98%, siendo la proporción restante material vítreo no convertido. El tamaño del grano es usualmente entre 0.1 y 1.0µm, significativamente más pequeño que el tamaño del grano de los cerámicos convencionales. La microestructura fina del cristal hace de los vidrios - cerámicos un material mucho más fuerte. También debido a la estructura cristalina, los vidrios - cerámicos son opacos (grises o blancos) en lugar de claros. Las ventajas de los vidrios - cerámicos son la eficiencia de procesamiento en estado vítreo, el control dimensional sobre la forma del producto final, el incremento de las propiedades físicas y mecánicas, la baja porosidad, bajo coeficiente de expansión térmica, alta resistencia al impacto térmico y alta resistencia eléctrica. Se puede utilizar en utensilios de cocina, cambiadores de calor y proyectiles.

En la tabla 27 se muestra la composición química típica de los materiales vidrio – cerámico.

Tabla 27: Composición química de los vidrios - cerámicos (Groover, 1997).

MATERIAL VIDRIO - CERÁMICO	CANTIDAD PORCENTUAL DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS VIDRIOS - CERÁMICOS						
	LiO <sub>2</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	BaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
LiO <sub>2</sub> - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .SiO <sub>2</sub>	3				18	70	5
MgO - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - SiO <sub>2</sub>		13			30	47	10
Na <sub>2</sub> O – BaO - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . SiO <sub>2</sub>			13	9	29	41	7

**Elementos importantes relacionados con los materiales cerámicos (Groover, 1997)**

Elementos como el carbono, el silicio y el boro no son de naturaleza cerámica, pero compiten con éstas por sus aplicaciones. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de ellos.

**Carbono**

El carbono se presenta en dos formas en ingeniería y comercialmente que son grafito y diamante. Ambos compiten con los cerámicos en varias aplicaciones: El grafito, en situaciones donde las propiedades refractarias son importantes. El diamante, en aplicaciones industriales donde la dureza es un factor crítico, como en herramientas de corte y esmerilado. El grafito tiene un alto contenido de carbono cristalino en forma de capas, los enlaces atómicos son covalentes y por tanto fuertes, pero las capas paralelas se enlazan entre sí por fuerzas débiles de Van der Waals. Esta estructura hace del grafito un material anisotrópico, lo que quiere decir que su resistencia y otras propiedades varían significativamente con la dirección de las fuerzas ejercidas sobre el material. Esto explica por qué el grafito se puede utilizar como lubricante y como una fibra en materiales compuestos avanzados.


En polvo tiene baja fricción por la facilidad con que se desliza entre sus capas; en esta forma, el grafito es un lubricante. En forma de fibra el grafito se orienta en la dirección de la superficie hexagonal para producir un material de alta resistencia y módulo de elasticidad. Las fibras de grafito se utilizan en compuestos estructurales. El diamante es carbón con estructura cristalina cúbica centrada en las caras, con enlaces covalentes entre sus átomos. La estructura es tridimensional, no estratificada como la del grafito y esto explica la alta dureza del diamante. Al igual que el grafito, el diamante es muy propenso a oxidarse (descomponerse) al aire a temperaturas cercanas a 650°C.

**Silicio**

Es un elemento semimetálico, ubicado en el mismo grupo del carbono. El silicio es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre. Aparece en la naturaleza solamente como compuesto químico en las rocas, en la arena, en la arcilla y en la tierra, ya sea en forma de dióxido de silicio o silicatos más complejos. Como elemento tiene la misma estructura cristalina que el diamante, pero su dureza es menor. Es duro, pero frágil, de peso ligero y químicamente inactivo a temperatura ambiente y se clasifica como semiconductor. El silicio como compuesto se usa en los cerámicos, el SiO<sub>2</sub> en los vidrios y los silicatos en las arcillas. También es usado como elemento de aleación en acero, aluminio y aleaciones de cobre. La gran mayoría de circuitos integrados que se producen actualmente se hacen de silicio.

**Boro**

Es un elemento semimetálico que se ubica en el mismo grupo del aluminio. Constituye el 0.001% de la corteza terrestre en peso como mineral *bórax* y *kernita*. El boro es un elemento ligero con propiedades semiconductoras (la conductividad varía con la temperatura; es un aislante a baja temperatura, pero un conductor a altas temperaturas) y muy tenaz (alto módulo de Young) en la forma de fibra. Generalmente se encuentra en forma compuesta y se usa en operaciones de niquelado electrolítico como un ingrediente ( $B_2O_3$ ), en ciertas composiciones de vidrio y como nitruro cúbico de boro para herramientas de corte. En forma casi pura se usa como fibra en materiales compuestos.

A microscopic image of plant tissue, likely a cross-section of a stem, showing various cellular structures. The image is predominantly green and blue, with some brown and red spots. A white rectangular box is overlaid on the lower-left portion of the image, containing the text '1.4 Materiales poliméricos para el diseño'.

## 1.4 Materiales poliméricos para el diseño

Un polímero es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga, donde cada molécula está hecha de unidades repetitivas que se conectan entre sí. La mayoría de los polímeros se basan en el carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Por consiguiente, son considerados sustancias químicas orgánicas (Groover, 1997). Los polímeros tienen estructuras que son, ni totalmente ordenadas ni plenamente desordenadas. Se trata de materiales difíciles de describir en términos de su configuración estructural. Los polímeros están constituidos por la agrupación de un compuesto sencillo, al que se le da el nombre de monómero (Saja Sáez, Rodríguez Pérez, & Rodríguez Méndez, 2005). Los monómeros son por lo general moléculas orgánicas donde los átomos están unidos por enlaces covalentes.

La estereorregularidad o tacticidad tiene que ver con el arreglo espacial de los átomos y grupos de átomos en las unidades repetitivas de la molécula del polímero. Un aspecto importante de la estereorregularidad es la forma en que se localizan estos grupos de átomos a lo largo de la cadena del polímero, cuando un átomo de hidrógeno de sus meros ha sido reemplazado por otro átomo o grupo de átomos. La tacticidad es importante para definir las propiedades del polímero y entre más homogéneo sea el arreglo espacial de los átomos, los polímeros tendrán mejor desempeño. Son tres posibles arreglos tácticos: Isotáctico, en el cual los grupos impares de átomos se colocan del mismo lado de la cadena. Sindiotáctico, donde los grupos de átomos se alternan en lados opuestos. Atáctico, en el cual los grupos se colocan alternativamente a cualquier lado (Askeland & Phulé, 2004). En la figura 6 se observa una posible superficie de un material polimérico.



Figura 6: Superficie de un material polimérico (Plásticos malfanti, 2009)

### Clasificación de los polímeros

Los materiales poliméricos se encuentran divididos en los siguientes grupos.

#### Polímeros termoplásticos

Están formados por largas cadenas producidas al unir los monómeros; comúnmente se comportan de una manera plástica y dúctil. Entre los átomos de cadenas diferentes existen enlaces de Van der Waals relativamente débiles y sus cadenas se pueden desenlazar mediante la aplicación de un esfuerzo a la tensión. Los termoplásticos pueden ser amorfos o semicristalinos y al calentarse se ablandan y se funden, por lo que se pueden reciclar fácilmente (Askeland & Phulé, 2004). La razón de este comportamiento es que los polímeros termoplásticos están constituidos por macromoléculas lineales ramificadas que no se encadenan transversalmente cuando se les calienta (Groover, 1997).

#### Termoplásticos amorfos

Los amorfos son aquellos que tienen una estructura interna sin orden alguno. Estos materiales tienen alta rigidez y solo disponen de temperatura de reblandecimiento a partir de la cual pasan al estado fundido debido a la alta energía de sus moléculas. Se caracterizan por tener una elevada transparencia, dureza y rigidez (Peña Andrés, 2009). Los termoplásticos más representativos del grupo de los amorfos los siguientes.

**Vinílicos:** Polímeros que son polimerizados a partir del vinilo.

- **Policloruro de vinilo (PCV):** Plástico amorfo de alto consumo. Se caracteriza por tener un buen aislamiento eléctrico y buena resistencia a la intemperie. Es autoextinguible y puede presentarse flexible o rígido. Se utiliza en tuberías, puertas, ventanas, empaques de alimentos, persianas, láminas de impermeabilización, muebles de jardín, bolsas de suero, juguetes, calzado, tarjetas bancarias, encuadernaciones de libros (Peña Andrés, 2009).
- **Cloruro de polivinilideno (PVDC):** Comercialmente se conoce como Saran (Down Chemical Company) puede encontrarse como película o resina. Tiene una alta barrera contra el oxígeno, humedad y químicos. Conservando sabor y aroma independientemente de la humedad y la temperatura de los alimentos y productos farmacéuticos. Se utiliza en packaging para líquidos, productos médicos, cereales y quesos (Hermida, 2008).
- **Acetato de polivinilo (PVA):** Es un polímero sintético parecido a la goma. Como emulsión en agua el PVA se vende como pegamento para los materiales porosos, particularmente madera, de papel, y paño. Es usado generalmente para adhesivos de encuadernación, bolsas de papel, cartones para leche, sobres, cintas engomadas, calcomanías, etc. (WorldLingo, 2011).

**Estirénicos:** Polímeros que son polimerizados a partir del estireno (Peña Andrés, 2009).

- **Poliestireno (PS):** Es un polímero de alto consumo, de estructura amorfa, rigidez aceptable y notable por su fragilidad. El PS es transparente, fácilmente pigmentable y moldeable, pero se degrada a temperaturas elevadas y se disuelve en solventes. Existen diversos grados en el surtido de PS, desde grados de alto impacto (HIPS), de alta rigidez, de alta fluidez, entre otros. Se presenta también expandido, conocido como Porexpan® marca comercial de BASF, muy empleado en embalajes de protección por su alta resiliencia. Se utiliza en vasos y platos desechables, cajas de casetes y CD's, bolígrafos, reglas y artículos de oficina en general.
- **Poliestireno de alto impacto (HIPS):** Debido a la fragilidad del PS se le adiciona de un 5 a un 15% de hule y se puede utilizar bajo la forma de espuma de poliestireno. Respecto al resto de los estirénicos, presenta una mayor resistencia térmica, puede ser traslúcido u opaco, en estado amorfo se puede encontrar en diferentes colores. Se utiliza en instrumental médico, perillas de electrodomésticos, juguetes.
- **Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS):** El nombre del plástico se deriva de los tres monómeros iniciales, los cuales se mezclan en varias proporciones. Es un copolímero del estireno con buenas propiedades al impacto, debido al caucho natural (butadieno). Se puede unir con otros polímeros para mejorar sus propiedades. Por ejemplo el ABS con el PVC genera una mayor resistencia al fuego. Su resistencia a la intemperie no es buena, por lo que en aplicaciones en el exterior deberá ir recubierto de capas de pintura. Es muy buen aislante térmico y eléctrico, apto para galvanizar, cromar, pintar, etc. Se utiliza en carcasas de electrodomésticos, maletas, teléfonos, tapones cromados, componentes de automóviles.
- **Estireno Acrilonitrilo (SAN):** Es un polímero con una rigidez aceptable y muy frágil. Es levemente menos transparente que el PS, pero de mayor brillo. Presenta una excelente barrera al CO<sub>2</sub> y la humedad. Se utiliza en empaques para protección de alimentos, quipos de diálisis desechables y reflectores en faros de autos y motos.
- **Acrilonitrilo Estireno Acrílico (ASA):** De los copolímeros estirénicos es el que mejor resistencia a la intemperie tiene, ya que conserva las propiedades mecánicas y visuales tras largos periodos de exposición a rayos UV. También presenta una cierta mejora al impacto comparándolo con el PS y el SAN. Se usa generalmente como recubrimiento de aglomerados, cubiertas para vehículos de nieve, perfiles para ventanas o puertas exteriores.

**Acrílicos:** Polímeros que son polimerizados a partir del acrílico (Peña Andrés, 2009).

- **Polimetilmetacrilato (PMMA):** Este polímero se caracteriza por su alta transparencia y excelentes propiedades superficiales. Buena resistencia a la intemperie y estabilidad dimensional. Baja resistencia al impacto. Respecto al resto de los plásticos transparentes como el PS o el PC, se destaca por su alta resistencia a la intemperie y al rayado. Comercialmente se conoce como Plexiglass® (marca registrada por Rohm and Hass). Este polímero se utiliza en arquitectura y decoración por encontrarse comercialmente transparente, opaco y translúcido. Se usa en lentes ópticos y en prótesis dentales.
- **Poliacrilonitrilo (PAN):** Este polímero se conoce comercialmente como Orlón® (DuPont) y Acrilán® (Monsanto). Se utiliza en productos que van a estar expuestos a la intemperie. Posee elevada rigidez, tenacidad y resistencia. Sus usos principales se da en la fabricación de fibras sintéticas para hacer carpas, medias, suéteres y tejidos.

**Carbonatos:** Polímeros que son polimerizados a partir del carbonato (Peña Andrés, 2009).

- **Policarbonato (PC):** Forma parte de los plásticos utilizados en ingeniería. Tiene buenas propiedades mecánicas, resistencia al impacto y dureza superficial. Tiene buena resistencia a la temperatura y excelentes propiedades ópticas. Se utiliza en lentes de todo tipo de gafas, recipientes para alimentos, cristales antibalas y equipo antimotín.

**Sulfonas:** Polímeros que son polimerizados a partir de las sulfonas (Peña Andrés, 2009).

- **Polisulfona (PSU):** Es un termoplástico de ingeniería de alto desempeño, es semitransparente, color ámbar y resistente al calor. Ofrece excelentes propiedades de resistencia mecánica, eléctrica y química incluso mejor resistencia química que el policarbonato. Puede trabajar en continuo a temperaturas superiores a los 180°C y aguantar picos de temperatura de 230°C. Sus propiedades permanecen relativamente constantes en un amplio rango de temperatura, desde -100°C a 100°C. Son los únicos termoplásticos que se mantienen transparentes a 200°C. Tiene propiedades ignífugas y buena estabilidad dimensional. La polisulfona es resistente a la degradación del agua caliente y el vapor, por esa razón es de uso frecuente en productos médicos y de alimentos donde se requiere la esterilización repetida.

### **Termoplásticos semicristalinos**

Son aquellos plásticos flexibles por encima de su temperatura de reblandecimiento. Sobre esta temperatura, las cadenas poliméricas permiten un deslizamiento relativo entre ellas y por tanto favorecen un estado flexible del plástico. Para llegar al estado de fusión se debe inducir suficiente energía al polímero para que se rompan los enlaces que unen las diferentes cadenas y puedan tener una movilidad total de las mismas. Se caracterizan por tener una flexibilidad y ductilidad mayor que los amorfos. Son polímeros termoplásticos representativos del grupo de los semicristalinos los siguientes (Peña Andrés, 2009).

**Poliiolefinas:** Se conoce como poliolefina a los polímeros que son polimerizados a partir de olefinas (Peña Andrés, 2009).

- **Polietileno de alta densidad (HDPE):** Tiene una resistencia al impacto menor que el LDPE, pero su rigidez es mayor. Se utiliza en botellas para champú, detergentes, líquidos industriales y contenedores para alimentos.
- **Polietileno de baja densidad (LDPE):** Se procesa a un costo más bajo, aunque tiene poca estabilidad dimensional. Es muy ligero, muy flexible y se usa buen aislante eléctrico, no tóxico y resistente a gasolinas y agentes químicos. Se utiliza como láminas para invernaderos y tanques agrícolas e industriales de grandes dimensiones. Juguetes y base para pañales desechables, aislantes para cables, adhesivos que se funden en caliente y productos para el hogar en general de baja calidad y /o precio.
- **Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE):** Es un polietileno cuya tenacidad, resistencia química y durabilidad son muy superiores, incluso a baja temperatura. Presenta propiedades de biocompatibilidad, por lo que es útil en algunas prótesis. El proceso de manufactura es complejo, solo se conforma en procesos de compresión, extrusión y forja en tibio. Su peso es 10 veces mayor que el HDPE y presenta una absorción nula de agua, a diferencia de las poliamidas que son su principal competidor. Las aplicaciones son en fibras ultrarresistentes Spectra®, tablas para cortar y picar alimentos, piezas de maquinaria de procesado de alimentos, elementos antifricción en prótesis de rodilla y cadera.
- **Polipropileno (PP):** Es más rígido que el polietileno y tiene la densidad más baja dentro de los termoplásticos. Tiene alta resistencia química y a la fatiga, es inestable bajo agentes oxidantes como óxidos, cloros, reactivos y rayos UV. Para aplicaciones exigentes se refuerza con talco o fibra de vidrio corta. Por tener un punto de fusión más alto se utiliza en componentes que requieren esterilizarse. Aun siendo semicristalino se puede obtener un índice de transparencia elevado, lo cual es muy útil en la industria del packing. Las aplicaciones más comunes son en envases, carcasas de DVD, *tupperwares* y en zonas no estructurales de la carrocería de los automóviles. Una aplicación especial que se le da a este polímero son las bisagras de una sola pieza que pueden sujetarse a un gran número de ciclos de flexión sin que ocurran fallas o fracturas.

**Acetales:** Polímeros que son polimerizados a partir de los cetales (Peña Andrés, 2009):

- **Polioximetileno (POM):** Es un plástico técnico y se caracteriza por la capacidad de recuperar la forma tras ser deformado. La resistencia al desgaste y la rigidez es la más alta de los polímeros sin reforzar y su resistencia al impacto es buena. Comercialmente se conoce como Delrin® (DuPont). Es idóneo para aplicaciones con alto número de ciclos a fatiga. Se mecaniza fácilmente, no necesita acabado superficial. Por la precisión dimensional y resistencia al desgaste se utiliza en piezas de relojería, de televisión, de radio, en tornillería y bisagras.

**Celulósicos:** Polímeros que son polimerizados a partir de la celulosa (Peña Andrés, 2009).

- **Acetato de celulosa (CA):** Es un termoplástico de dureza media alta, brillante y transparente. Debido a que es altamente higroscópico (capacidad de absorber humedad), puede tener cambios dimensionales en piezas moldeadas. Comercialmente se puede presentar en película y se conoce como celofán o celuloide o en fibra y se conoce como rayón. Actualmente el celofán ha sido sustituido por el polipropileno que es un derivado del petróleo ya que por costos de fabricación ha sido más práctico. La baja permeabilidad del celofán tanto al aire como a la grasa y las bacterias lo hace útil como material para envoltorio de alimentos. También es usado para monturas de gafas, fibras de cepillos de dientes y de pinceles, recipientes de cosméticos.

**Fluorados:** Polímeros que son polimerizados a partir del flúor (Peña Andrés, 2009).

- **Politetrafluoretileno (PTFE):** Es un polímero conocido por su nombre comercial Teflón® (DuPont). Se caracteriza por tener muy baja adherencia. Es aislante térmico, eléctrico y muy flexible. Además es inerte y es opaco. Se utiliza como desmoldante, antiadherente en aplicaciones industriales y domésticas, como sartenes o tejidos hidrófobos (repelen el agua o no se pueden mezclar con ésta). También es usado como película protectora de la corrosión en todo tipo de aplicaciones y para el sellado de grifos y tuberías.

**Poliéster:** Polímeros que son polimerizados a partir del éster (Peña Andrés, 2009).

- **Polietilentereftalato (PET):** Este polímero presenta alta resistencia al desgaste, estabilidad térmica, es una barrera del CO<sub>2</sub> y es altamente transparente. Se puede presentar en películas y en fibras. Como película es utilizado para hacer envases de refrescos carbonatados, aceite, agua, cajas de cosméticos y electrodomésticos. Como fibra para hacer prendas de vestir como camisetas y chaquetas impermeables.
- **Polibutilentereftalato (PBT):** Tiene buenas propiedades mecánicas, alta estabilidad dimensional y estabilidad frente al calor. Se puede obtener un material rígido y con buena resistencia a la abrasión. Tanto el PET como el PBT presentan baja absorción de agua. Las aplicaciones son básicamente del sector ingenieril como en elementos antideslizantes, cojinetes y ruedas dentadas del sector automotriz.

**Cetona:** Polímeros que son polimerizados a partir de la cetona (Peña Andrés, 2009).

- **Polieteretercetona (PEEK):** Es el termoplástico más fuerte y rígido. Tiene alta resistencia a la llama y a las sustancias químicas. Soporta temperaturas del orden de los 340°C. Es un 30% más ligero que el aluminio, por lo que su principal problema es el precio. Se utiliza para recubrimiento de cables eléctricos y en piezas expuestas a ambientes extremos como en la industria aeroespacial.

**Amida:** Polímeros que son polimerizados a partir de la amida (Peña Andrés, 2009).

- **Poliamida (PA):** Estos materiales forman parte de los plásticos técnicos. Esto implica que son utilizados para piezas que cumplen especificaciones técnicas altas. Tienen una buena estabilidad dimensional (una vez terminada la absorción de humedad), buena resistencia a la abrasión, buena resistencia al calor. Tiene resistencia a altas temperaturas y módulos de resistencia altos. Es importante destacar, que en la etapa posterior al procesado, la PA absorbe agua; este fenómeno transfiere al material unas propiedades de impacto óptimas. Es uno de los polímeros fibrosos más extendidos. Generalmente las fibras de PA son conocidas por sus nombres comerciales como Nylon®, Kevlar®, Nómex® (DuPont).

El Nómex se utiliza para la fabricación de la ropa protectora antiincendios. El Kevlar se usa en chalecos antibalas y toda la ropa del uniforme militar, cascos, guantes, cargadores, portadores de explosivos e incluso mantas balísticas. El Nylon® se usa en asientos de válvulas, engranajes en general, excéntricas, cojinetes, rodamientos, etc. El nylon también pueden funcionar frecuentemente sin lubricación, pudiendo en muchos casos moldearse en una sola pieza, evitándose así, el ensamblado de las diferentes piezas metálicas o el uso de máquinas costosas. Las fibras de Nylon son muy utilizadas en tejidos impermeables y transpirables, medias y lonas. Existen diferentes tipos de poliamidas:

- **PA 4/6:** Tiene alta cristalinidad, alta resistencia mecánica y rigidez, resistencia a la fatiga y creep (deformación bajo una carga constante).
- **PA 6:** Tiene mayor tenacidad y flexibilidad que la PA 6/6.
- **PA 6/6:** Tiene mayor resistencia al calor, abrasión, resistencia mecánica, rigidez y dureza que la PA 6.
- **PA 6/12:** Tiene menor absorción de agua, mantiene las propiedades mecánicas y eléctricas en ambientes de alta humedad, aunque con menor resistencia y rigidez.
- **PA 11 y 12:** Tienen alta resistencia a fluidos automotrices, lubricantes y combustibles. Baja higroscopía.

**Uretanos:** Polímeros que son polimerizados a partir de los uretanos.

- **Poliuretano (TPU):** Dependiendo del grado de cristalinidad puede mostrarse muy transparente o completamente opaco. Transparente si es muy amorfo y opaco si el grado de cristalización es alto. Alta resistencia al desgaste y a la abrasión. Alta resistencia a la tracción y al desgarre, buena capacidad de amortiguación, buena flexibilidad a bajas temperaturas, alta resistencia a grasas, aceites, oxígeno y ozono. Se utiliza en componentes para automóvil, tanto *softouch* en el habitáculo como piezas del chasis y compartimento motor. Se usa como fibra elástica textil, empleadas en ropa deportiva y de baño y en suelas de calzado (IDES).

Los polímeros termoplásticos se pueden encontrar en el mercado con diversos nombres. Algunos de ellos se pueden ver en la tabla 28.

Tabla 28: Nombres comerciales de polímeros termoplásticos (Peña Andrés, 2009)

NOMBRES COMERCIALES DE ALGUNOS POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS		
ABREVIATURA	POLÍMERO	NOMBRES COMERCIALES
ABS	Acrlonitrilo Butadieno Estireno	Lustran, Terluran, Novodur, Cycolac
CA	Acetato de Celulosa	Tenite, Acele, Cellidor, Escaron
HDPE	Polietileno de alta densidad	Marlex, Hostalen, Vestolen
PA	Poliamida	Nylon, Capron, Akulon, Zytel, Grilon, Rilsan
PC	Policarbonato	Lexan, Makrolon, Merlon
PE	Polietileno	Alathon, Hostalen, Vestolen, Lupolen, Petrothene
PET	Polietilentereftalato	Petra, Valox, Tenite, Celanex, Termofil
PMMA	Polimetilmetacrilato	Lucite, Plexiglass, Lucryl, Diakon
POM	Polioximetileno, Poliacetal	Delrin
PP	Polipropileno	Escorene, Novolen, Moplen
PS	Poliestireno	Vestyron, Arralene, Lustrex, Styron
PTFE	Politetrafluoretileno	Teflón, Halon, Fluon, Haalar
PVC	Policloruro de vinilo	Vestolit, vinoflex, Hostalit, Solvic, Luconvyl
SAN	Acrlonitrilo estireno	Lustran, Luran, Vestoran, Kostil

### Termoestables o termofijos

Estos materiales son siempre amorfos y presentan un comportamiento contrario a los termoplásticos. Después de procesados, y en su estado final, están constituidos por macromoléculas entrecruzadas por enlaces covalentes que forman una red tridimensional térmicamente estable y no pueden ni fundir ni disolverse (Saja Sáez, Rodríguez Pérez, & Rodríguez Méndez, 2005). Estos polímeros poseen buena resistencia, rigidez y dureza, pero baja ductilidad y resistencia al impacto (Askeland & Phulé, 2004).

El encadenamiento transversal de las cadenas moleculares se puede obtener a partir de sistemas activados por temperatura. Es donde los cambios son causados por fuentes de calor durante las operaciones de conformado de la pieza. El material se somete al calentamiento para ablandarlo y moldearlo, una mayor exposición al calor causa el encadenamiento transversal del polímero. El término *termofraguado*, se aplica a estos polímeros.

También están los sistemas activados catalíticamente. El encadenamiento transversal en estos sistemas ocurre cuando se añaden en forma líquida pequeñas cantidades de un catalizador. Sin el catalizador el polímero permanece estable, pero una vez combinado con el catalizador, cambia a la forma sólida. Por último están los sistemas activados por mezcla. La mayoría de las resinas epóxicas son ejemplos de estos sistemas. La mezcla de dos sustancias químicas genera una reacción que forma un polímero sólido con cadenas transversales. Las temperaturas elevadas se usan algunas veces para acelerar las reacciones. Las reacciones químicas asociadas con el encadenamiento transversal se llaman curado o fraguado (Charrier, 1987).

Estos polímeros tienen elevado nivel de toxicidad durante el proceso de fabricación, son de difícil moldeo y reciclaje. Aún son utilizados como recubrimientos de aglomerados, ejemplo de esto la melanina, aunque paulatinamente está siendo reemplazada por estirénicos (Acrilonitrilo Estireno Acrílico (ASA)), los poliuretanos en espumas (PUR), los poliésteres reforzados con fibra de vidrio (aunque se refuerza cada vez más con fibras termoplásticas) y las epoxi reforzadas de fibra de carbono, como material compuesto *high-tech*, sustituto ligero de piezas metálicas (Peña Andrés, 2009).

### **Termofijos comerciales**

Dentro del grupo de los termofijos existen otras categorías que se mencionan a continuación (Groover, 1997).

**Aminorresinas:** Estos polímeros se caracterizan por pertenecer al grupo amino ( $\text{NH}_2$ ); Las aminorresinas consisten en dos polímeros termofijos, urea formaldehído (UF) y melamina formaldehído (MF) que se producen mediante la reacción del formaldehído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) ya sea con urea [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] o melamina ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$ ) respectivamente. La urea formaldehído tiene un comportamiento similar a las resinas fenólicas, aunque presentan baja resistencia a la humedad. Pero en cambio, éstas si pueden ser coloreadas. Compiten con los fenoles en aplicaciones como madera enchapada, adhesivos para aglomerados, impermeabilización del papel y paneles aislantes.

Estas resinas se usan también como compuesto moldeable para carcasas de electrodomésticos, como por ejemplo en los secadores de cabello. Es ligeramente más costosa que el material fenólico. El plástico melanina formaldehído tiene propiedades similares a las resinas fenólicas y uréicas, pero con una resistencia a la temperatura menor. Son muy duras, resistentes a la abrasión y a la deformación bajo carga. Presentan ventaja de ser pigmentables, lo que junto a su resistencia química y resistencia al agua las hacen un buen recubrimiento para aglomerados. Tiene aplicaciones como en adhesivos, revestimiento para textiles, en vajillas y laminados para mesas y puertas como la FÓRMICA®, una marca registrada de Cyanamid Co.

**Epóxicos (EP):** Las resinas epóxicas se basan en grupo químico llamado *epóxidos*. La formulación más simple es la del óxido de etileno ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}$ ). Se necesita usar un agente de curado para incrementar el peso molecular y encadenar transversalmente al epóxido. Los epóxicos curados son notables por su resistencia al calor y a los agentes químicos. Esta resina es más costosa que la resina de poliéster por sus aplicaciones versátiles. Son fáciles de trabajar por moldeo o arranque de viruta y no se contraen después de su endurecimiento.

Esta resina no desprende gases durante su formación y después de endurecidas son inodoras, inocuas e insípidas. Tiene una alta adherencia, haciéndola uno de los adhesivos sintéticos más utilizados. Sus aplicaciones son recubrimientos superficiales, pisos industriales, compuestos reforzados con fibras para automoción, aeronáutica, raquetas, bicicletas. También para hacer recubrimientos para botes y barcos, base para pinturas aislantes eléctricas y anticorrosivas en metales, adhesivos barnices resistentes al fuego, encapsulado de LEDs y circuitos impresos.

**Fenólicos:** Los polímeros fenólicos ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) pueden reaccionar con el formaldehído. El fenol formaldehído (MPF) es el más importante de los polímeros fenólicos; se comercializa desde principios del siglo XX bajo la marca registrada *Bakelita*. Es frágil y posee buena estabilidad térmica, química y dimensional. Su capacidad de aceptar colorantes es limitada y se encuentra disponible en colores oscuros. También se utiliza como adhesivo para maderas contrachapadas,

mangos de sartén, tarjetas para circuitos impresos, contratapas, carcasas de motor y como piedras abrasivas. También ha sido aglutinante de conglomerados y estratificados de papel y madera, así como matriz en materiales compuestos.

**Poliésteres (UP):** Los poliésteres contienen enlaces de los ésteres (CO-O) pueden ser termofijos o termoplásticos. Como termofijos se usan mucho en plásticos reforzados (compuestos) por ser transparentes para fabricar tubos, tanques, cascos de botes y carrocerías automotrices. Los poliésteres se curan por calor o por medio de un catalizador que se le adiciona a la resina. El curado se realiza en el proceso de conformado donde resulta el encadenamiento transversal del polímero. Este tipo de resina se usa en barcos, cañas de pescar, mobiliario y paneles de automóviles. Una clase importante de poliésteres son las resinas *alquídicas*, cuyo nombre se deriva de las palabras alcohol y ácido, y se usan principalmente como base de pinturas, barnices y lacas.

**Poliuretanos (PUR):** Estos se caracterizan por estar en el grupo uretano (NHCOO). A causa de las variaciones en la composición química, el encadenamiento transversal y el procesamiento, los poliuretanos pueden ser termofijos, termoplásticos o elastómeros, siendo los termofijos y los elastómeros los más usados en la industria. La mayor aplicación de los poliuretanos son las espumas. Estas tienen un comportamiento elastomérico y rígido. Las espumas rígidas se usan como material de relleno en los tableros de las construcciones y en las paredes de los refrigeradores y automóviles. En estas aplicaciones el material sirve de aislante térmico, añade rigidez a la estructura y no absorbe agua en cantidades significativas. Muchas pinturas, barnices y recubrimientos similares se basan en sistemas de uretano. Las espumas elastoméricas se utilizan para topes de puertas, equipos de protección de alto impacto tanto en deportes como en automóviles.

**Silicones:** Estos son polímeros inorgánicos y semiinorgánicos que se distinguen por la presencia de enlaces siloxanos (-Si-O-) en varias proporciones. Con variaciones en su composición y procesamiento, los polisiloxanos se pueden producir como fluidos que se usan como lubricantes, ceras, pulimentadores y otros líquidos. Los elastómeros de silicón y los termofijos tienen cadenas transversales. El curado se hace por calentamiento o dejando que se evaporen los solventes que contienen. Los silicones son notables por su repelencia al agua y su resistencia al calor, pero su resistencia mecánica no es tan grande como otros polímeros encadenados transversalmente. Los polímeros termofijos se pueden encontrar en el mercado con diversos nombres. Algunos de ellos se pueden ver en la tabla 29.

Tabla 29: Nombres comerciales de las resinas termoestables (Peña Andrés, 2009).

NOMBRES COMERCIALES DE ALGUNOS POLÍMEROS TERMOESTABLES		
ABREVIATURA	POLÍMERO	NOMBRES COMERCIALES
MF	Melamina formaldehído	Ciba FRTP, Meloplast, Hostaset
MPF	Melamina fenol formaldehído	Plenco, Prolan, Fiberite, Cymel
PF	Fenol formaldehído	Bakelite, Durez, Fluosite, Trolitan
UF	Urea formaldehído	Uformite, Carbaicar, Resopal
UP	Poliéster	Palatal, Menzolit, Vestopal
EP	Resina Epoxi	Araldit, Epoxin, Hostapox
PUR	Resina poliuretano	Elastogran, Desmopan, Durethan

### Polímeros elastoméricos

También conocidos como cauchos, son sustancias que al igual que los termoestables contienen cadenas entrecruzadas. Sin embargo, el entrecruzamiento no es tan denso como en los termoestables. A cierta temperatura el material se convierte en un seudofluido, de mayor o menor viscosidad, que puede moldearse fácilmente. Una vez conformado en la forma deseada, las cadenas se conectan entrecruzándose ligeramente (proceso de vulcanización). La característica fundamental de los elastómeros es que se deforman rápidamente si se les aplica una fuerza y se recuperan de forma casi instantánea cuando ésta cesa. Las deformaciones pueden ser hasta 10 veces su longitud inicial (Saja Sáez, Rodríguez Pérez, & Rodríguez Méndez, 2005).

Las propiedades elásticas se deben a la combinación de dos características. La primera es que cuando las moléculas largas no están estiradas, se encuentran estrechamente retorcidas y segundo, el grado de encadenamiento transversal es sustancialmente más bajo que el de los termofijos (Groover, 1997). No obstante, llegará un momento en el que se habrá producido el estiramiento máximo de los segmentos de la cadena entre los nudos, y, como las cadenas no pueden fluir, si se aumenta la tensión se producirá la rotura del material. Si el material se encuentra estirado sin llegar a la rotura, cuando se deja de aplicar la tensión recupera su forma original y vuelve al estado de equilibrio. En el caso del caucho natural la reacción de vulcanización se provoca añadiendo azufre, presión y temperatura, que contribuyen a formar los puentes intermoleculares (Saja Sáez, Rodríguez Pérez, & Rodríguez Méndez, 2005).

El estudio de los elastómeros se clasifica en dos grupos: Los hules naturales y los hules sintéticos (Groover, 1997).

**Hule natural (HN):** El hule natural, en inglés (NR) se deriva del látex, una sustancia lechosa producida por varias plantas, la más importante de ellas es el árbol de hule (*Hevea brasiliensis*) que crece en los climas tropicales. El hule se extrae del látex por varios métodos como por ejemplo coagulación, secado o aspersión. Finalmente lo que buscan estos métodos es remover el agua.

El hule crudo natural es pegajoso en clima caliente y duro y quebradizo en clima frío. Para formar un elastómero con propiedades útiles, el hule natural debe ser vulcanizado. En la vulcanización tradicional se mezclan pequeñas cantidades de azufre con presión y temperatura. El efecto químico de la vulcanización es el encadenamiento transversal y el resultado mecánico es el incremento de su resistencia y dureza, también mantiene su extensibilidad. En este proceso el caucho pasa de ser un material termoplástico a ser un elastómero.

Como material de ingeniería, el hule vulcanizado es notable entre los elastómeros por su alta resistencia a la tensión, resistencia al desgarramiento, resiliencia (capacidad de recobrar su forma después de una deformación) y resistencia al desgaste y a la fatiga. Sus puntos débiles son: se degrada con el calor, con la luz del sol, con el oxígeno y en contacto con aceites.

El mercado más grande del hule natural es el de las llantas para automotores. En esta industria el negro de humo (pequeñas partículas de carbono) es un importante aditivo porque refuerza el hule e incrementa la resistencia a la tensión, al desgarramiento y a la abrasión. Otros productos hechos de hule incluyen suelas de zapatos, forros, sellos y componentes para absorber los impactos.

**Hule sintético:** El más importante de los hules sintéticos es el hule de estireno-butadieno (HSB) (SBR en inglés). Como la mayoría de otros polímeros, la materia prima predominante para la síntesis de estos hules es el petróleo. Cerca del 10% del volumen total de la producción de hule es reciclado. Los hules sintéticos con mayor importancia a nivel comercial son los siguientes.

- **Hule butadieno (BR):** El polibutadieno HB (BR en inglés) es importante en la producción de llantas automotrices por su alta capacidad de rebote, pero su proceso debe hacerse en combinación con otros hules, ya que es difícilmente conformable. El límite de la alta temperatura es de 100°C y el más bajo es de -50°C.
- **Hule butílico (IIR):** Este hule vulcanizado tiene muy poca permeabilidad al aire y a los gases lo que permite su uso en productos inflables como cámaras para llantas, forros de llantas y artículos deportivos. También es utilizado en elementos antivibratorios, ya que tienen baja resiliencia. Tiene alta resistencia al envejecimiento y a los productos químicos. El límite de la alta temperatura es de 110°C y el más bajo es de -50°C.
- **Hule cloropreno (CR):** El policloropreno fue uno de los primeros hules sintéticos que se desarrollaron desde la década de los treinta. Se le conoce normalmente como neopreno y es muy importante para propósitos especiales, porque cristaliza cuando se le tensiona para obtener buenas propiedades mecánicas. El hule cloropreno HC (CR en inglés) es más resistente a los aceites, al calor y a la flama que los hules naturales. El calor hace de este hule un material auto extingible, pero es más costoso. Sus aplicaciones incluyen mangueras para combustibles, bandas transportadoras, empaques. No se utiliza para llantas de automóviles. El límite de la alta temperatura es de 120°C y el más bajo es de -20°C.
- **Hule isopreno (IR):** El poliisopreno sintético sin vulcanizar es más suave y más fácil de moldear que el hule natural. Las aplicaciones del material sintético son similares a las de su contraparte, el hule natural y en general, el caucho IR puede ser usado solo o mezclado con NR en productos donde se utilice el NR. pero el mercado más grande de este producto son las llantas para automotores. Se usa también para calzado y bandas transportadoras. El costo por unidad de peso es alrededor de 35% más alto que el del hule natural. El límite de la alta temperatura es de 80°C y el más bajo es de -50°C.
- **Hule nitrilo (NBR):** El nombre técnico de éste caucho es hule butadieno-acrilonitrilo, lo que indica que es un copolímero de butadieno (PB) y acrilonitrilo (PAN), con una proporción del 55% al 82% de PB. Los grupos nitrilo le otorgan una alta resistencia a los aceites, a la gasolina y al agua. Tiene buena resistencia mecánica y resistencia a la abrasión y al calor. Se utiliza en mangueras de gasolina, sellos y calzado. El límite de la alta temperatura es de 120°C y el más bajo es de -50°C.
- **Hule estireno-butadieno (SBR):** Se reconoce por las siglas HEB (SBR en inglés). Es un copolímero que contiene entre un 20% y 23% de PS y el resto de butadieno. Es el elastómero de más grande tonelaje, cerca del 40% del total de hules producidos, quedando el hule natural en segundo lugar de producción en peso. Sus características son el bajo costo, resistencia a la abrasión y mejor uniformidad superficial que la del hule natural. Cuando se le refuerza con negro de humo y se vulcaniza, sus propiedades y aplicaciones son muy similares a las del hule natural, incluyendo su costo.


Una comparación con el hule natural revela que en propiedades mecánicas, excepto la resistencia al desgaste, son inferiores a las del hule natural, pero su resistencia al envejecimiento por calor, al ozono, al clima y a los aceites es superior. Las aplicaciones incluyen llantas, calzado y asilamiento de alambres de cables. Cuando se requiere en aplicaciones con alta tenacidad y resistencia a la abrasión se refuerza con mayores proporciones de estireno. El límite de la alta temperatura es de 110°C y el más bajo es de -50°C.

- **Poliuretano (PUR), (EU), (AU):** Los poliuretanos (PU) termofijos con un encadenamiento transversal mínimo son elastómeros y la mayoría se producen como espumas flexibles. De esta forma se utiliza en colchones, asientos de automóviles y sillas. Sin encadenamiento, el material es un elastómero termoplástico que se puede moldear por inyección. El límite de la alta temperatura es de 100°C y el más bajo es de -50°C.
- **Silicones (MQ):** Los silicones como los poliuretanos pueden ser elastómeros o termofijos, dependiendo del grado de encadenamiento transversal. Debido a su alto costo se consideran hules para propósitos especiales como empaques, sellos, aislamiento eléctrico y prótesis. Este tipo de hules se pueden reforzar con polvos de sílice y aditivos sintéticos. Se caracteriza por su resistencia a las altas temperaturas. El límite de la alta temperatura es de 2300°C y el más bajo es de -50°C.

Los polímeros elastoméricos se pueden encontrar en el mercado con diversos nombres. Algunos de ellos se pueden ver en la tabla 30.

Tabla 30: Nombres comerciales de los cauchos o elastómeros (Peña Andrés, 2009)

NOMBRES COMERCIALES DE ALGUNOS POLÍMEROS ELASTOMÉRICOS		
ABREVIATURA	POLÍMERO	NOMBRES COMERCIALES
BR	Caucho polibutadieno	Solprene, Ameripol BR, Budene, Buna CB
CR	Caucho cloropreno	Neoprene, Baypren
IR	Caucho de poliisopreno	Natsyn, Nipol IR, Carifex IR, Shell Isoprene Rubber
NBR	Caucho nitrilo	Chemigun, Paracril, Perbunam
SBR	Caucho de estireno – butadieno	Cariflex, Humex, Europrene, Buna, Hüls
NR	Caucho natural	Caucho natural
EU	Caucho de poliuretano éter	Adiprene, Vibrathane, Pellethane
AU	Caucho de poliuretano poliéster	Repan, Baytec, Desmopan
IIR	Caucho butilo	Exxon butyl, Polysar butyl
MQ	Caucho de silicona	Silopren, Silastic, Elastosil



## 1.5 Materiales híbridos para el diseño

Los materiales híbridos son una combinación de dos o más materiales que están unidos de forma tal, que puedan ofrecer atributos que un solo material no ofrecería por sí solo. Los ingredientes para diseñar un material híbrido son los componentes, que son los materiales seleccionados para ser combinados. La configuración, que es la forma y la conectividad de los componentes. El volumen relativo, que es la fracción de volumen de cada componente y finalmente la escala, que es la longitud de la unidad estructural. Estos ingredientes son las variables que permiten la creación de “nuevos” materiales con un perfil de propiedades específicas. En la figura 7 se observan los posibles materiales que se utilizan para diseñar un material híbrido.

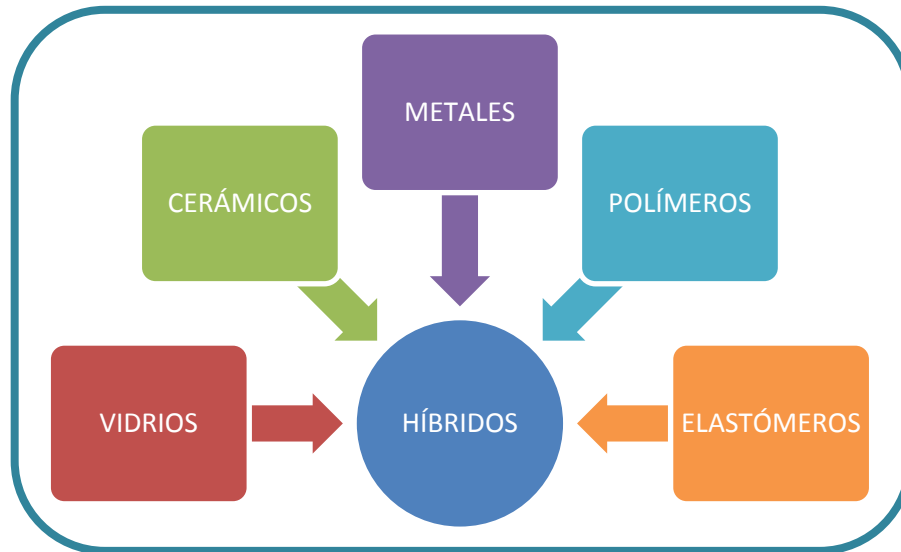


Figura 7: Materiales utilizados en el proceso de diseño de materiales híbridos (Ashby, 2005)

El objetivo de los materiales híbridos es obtener una serie de propiedades que respondan a unos requerimientos de diseño. Por esa razón, para realizar una comparación entre un híbrido y un material monolítico, se debe pensar en el híbrido como un material en sí mismo, el cual tiene sus propios atributos como densidad, resistencia, rigidez, entre otros (Ashby, 2005).

### Diseño de materiales híbridos

Las propiedades de los materiales de ingeniería pueden ser mapeados, mostrando los rangos de comportamiento técnico que ellos ofrecen. Estos mapas revelan que hay unos espacios vacíos: algunas áreas de propiedades son ocupadas y otras no. Estos espacios en algunas ocasiones se pueden ocupar combinando dos o más materiales existentes con el fin de permitir la superposición de sus propiedades y así crear un híbrido. En la figura 8 se muestra un esquema de propiedades denominadas P1 y P2 como ejes. Dentro de ese campo se identifican dos tipos de materiales M1 y M2 y algunas áreas vacías. Dependiendo de la forma de los materiales y cómo se combinen, se pueden generar cuatro posibles escenarios para el diseño de materiales híbridos.

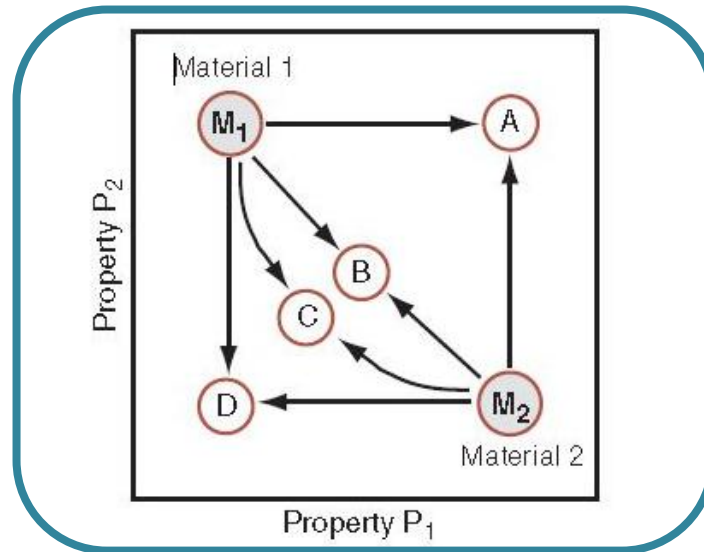


Figura 8: Posibilidades de hibridación (Ashby, 2005)

El Escenario (A) se denomina como “Lo mejor de ambos”, esto quiere decir que para crear híbridos, lo ideal es tomar las mejores propiedades de ambos componentes. Lo más común es que la mayoría de las propiedades de un material sean combinadas con las propiedades superficiales de otro material. Un ejemplo de esto es el acero recubierto con Zinc. Es un material que tiene la resistencia y la tenacidad del acero con la resistencia a la corrosión del Zinc. La cerámica esmaltada por ejemplo aprovecha la formabilidad y el bajo costo de la arcilla con la impermeabilidad y durabilidad del vidrio.

El escenario (B) se denomina como “La regla de mezclas”, esto quiere decir que cuando la mayoría de las propiedades son combinadas en un híbrido como en una estructura compuesta, lo mejor que se puede obtener es el promedio aritmético de las propiedades de todos los componentes (peso/fracción de volumen). Un ejemplo de esto son los compuestos con fibras unidireccionales.

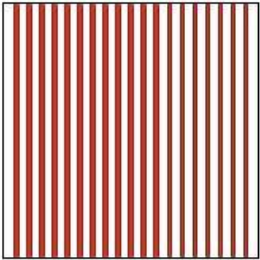
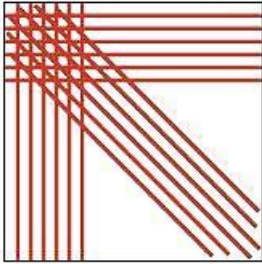
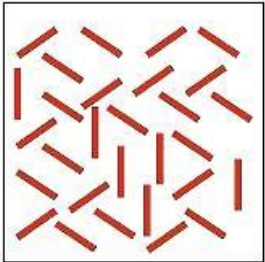
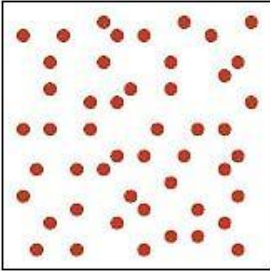
El escenario (C) se denomina como “El vínculo más débil predomina”, esto quiere decir que en ocasiones existe una solución intermedia. Un ejemplo de esto es la rigidez que se puede obtener en materiales compuestos particulados, la cual es inferior a la rigidez que se adquiere por medio de la regla de mezclas. Aunque las propiedades son menores, todavía pueden ser útiles. El escenario (D) se denomina como “Lo peor de ambos”, esto quiere decir que es un híbrido diseñado para fallar ( Ashby & Bréchet, 2003).

**Esquemas de diseño de los materiales híbridos**

Los materiales híbridos se distinguen por su configuración, la cual se puede encontrar en cinco posibles esquemas de diseño propuestas por Ashby y Bréchet ( Ashby & Bréchet, 2003) las cuales son: Compuestos, sándwiches, enrejados, segmentos y laminados. Bajo experimentaciones realizadas en esta investigación se sugiere un esquema de diseño adicional denominado como mezclas por fases.

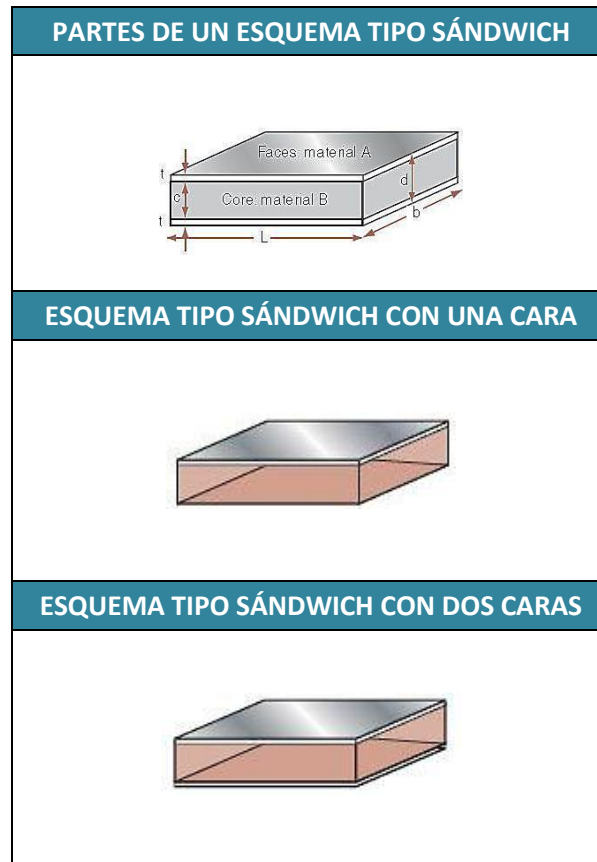
**Estructura de compuestos: Híbridos tipo 1:** Un material compuesto es un sistema de materiales formado por dos o más fases físicas distintas, cuya combinación produce propiedades conjuntas que son diferentes a las de sus constituyentes. La importancia tecnológica y comercial de los materiales compuestos se debe a que sus propiedades no solamente son diferentes de sus componentes sino que frecuentemente son superiores. Un material compuesto consiste en dos fases: una primaria presentada como matriz, dentro de la cual se incorpora la segunda fase, un agente reforzante. La fase refuerzo puede ser en forma de fibras, partículas u otras. Las fases son generalmente insolubles una en otra, pero debe existir una fuerte adhesión entre sus interfaces. La fase matriz y la fase refuerzo pueden ser cualquiera de los tres tipos de materiales básicos: cerámicos, polímeros o metales (Groover, 1997). En la tabla 31 se observan los esquemas de los compuestos.

Tabla 31: Esquemas de los compuestos ( Ashby & Bréchet, 2003)

COMPUESTOS DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES	COMPUESTOS DE FIBRAS POLIDIRECCIONALES
	
COMPUESTOS DE FIBRAS CORTADAS	COMPUESTOS PARTICULADOS
	

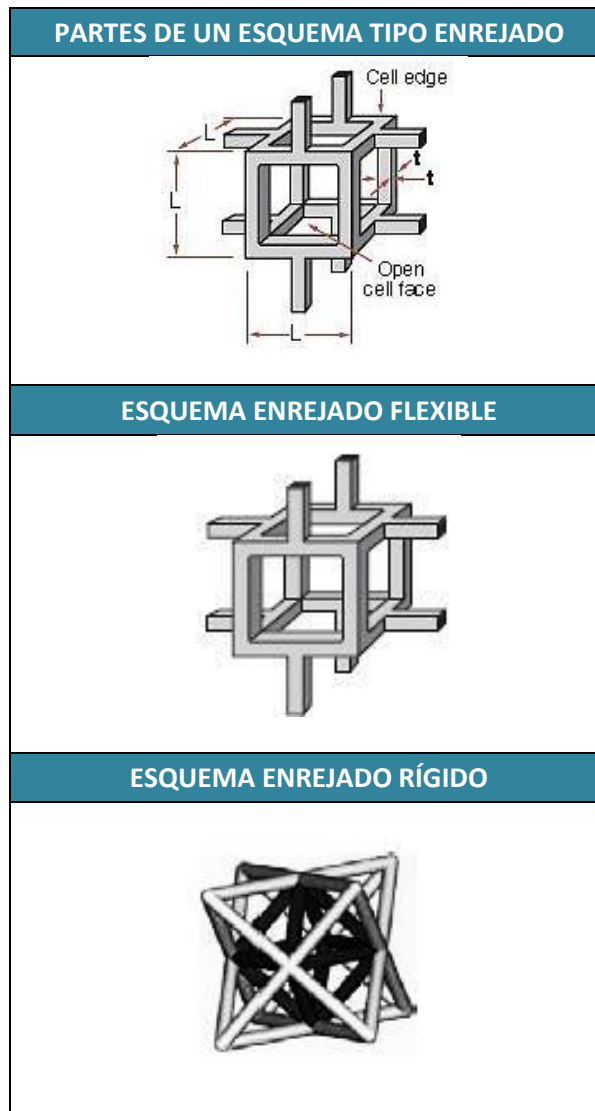
**Estructura de sándwiches: Híbridos tipo 2:** Este tipo de estructuras representa el concepto de un híbrido, ya que combina dos materiales en una geometría y escala específica. Se configura de tal manera que se forman caras y un núcleo para finalmente obtener una estructura de alta rigidez y resistencia específica. Las caras de la estructura son las que soportan la mayor parte de las cargas por lo que deben ser muy resistentes. Adicionalmente son la superficie exterior del panel, por lo que deben ser a su vez resistentes a la intemperie. El núcleo ocupa la mayor parte del volumen total de la estructura y debe ser un material liviano y resistente a las cargas que se ejerzan en la estructura (Ashby M. , 2005). En la tabla 32 se observan los esquemas de los sándwiches.

Tabla 32: Esquemas de los sándwiches (Ashby M. , 2005)




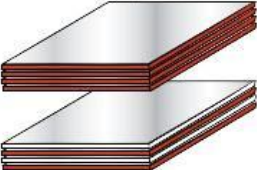
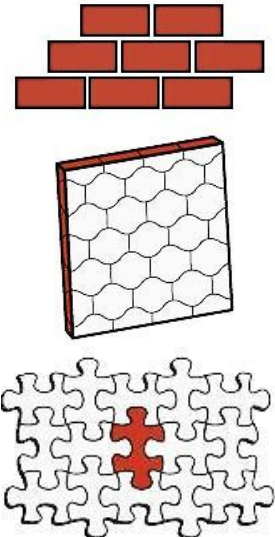

**Estructura de enrejado: Híbridos tipo 3.** Los enrejados, las espumas y en general las estructuras celulares, son híbridos formados por una parte en estado sólido y otra en estado gaseoso. Existen dos tipos de sólidos celulares. El primer tipo son espumas con baja interconectividad entre los poros, dándole flexibilidad bajo una carga. El segundo tipo son enrejados con una alta interconectividad, la cual disminuye la flexibilidad del material y aumenta la elasticidad del poro. En la tabla 33 se observan los esquemas de los enrejados (Ashby M. , 2005).

Tabla 33: Esquema de los enrejados (Ashby M. , 2005)



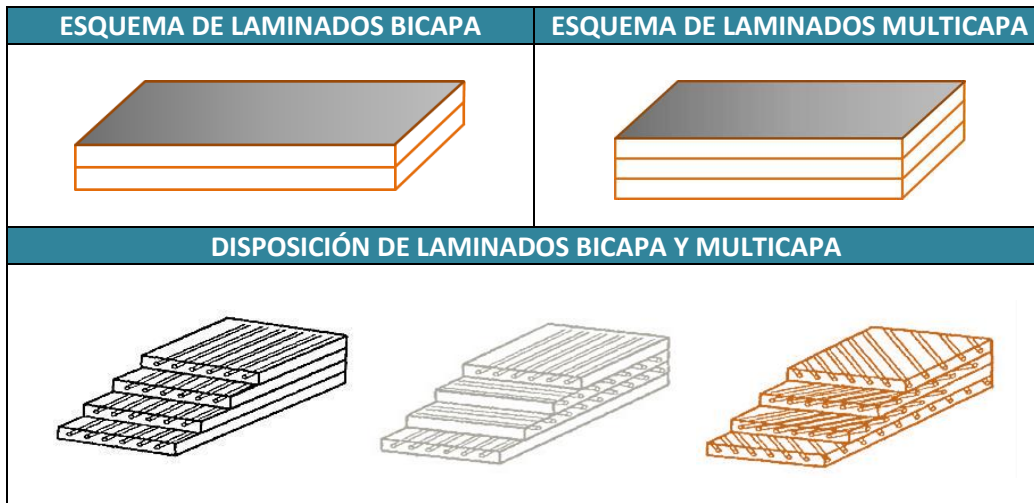
**Estructura de segmentos: Híbridos tipo 4:** Las formas segmentadas se pueden utilizar para dos objetivos principales. El primero es para reducir la rigidez y aumentar la resistencia de un material. El segundo es para impartir la tolerancia al daño. Esto quiere decir que la subdivisión de un material en varios segmentos reduce en un momento de impacto el daño global del material y solo se genera un daño local. (Ashby M. , 2005). En la tabla 34 se observan los diferentes esquemas de segmentos.

Tabla 34: Esquema de los segmentos (Ashby M. , 2005)

ESQUEMA DE SEGMENTOS QUE DISMINUYEN LA RIGIDEZ Y AUMENTAN LA RESISTENCIA		
UNIDIMENSIONALES	BIDIMENSIONALES	TRIDIMENSIONALES
		
ESQUEMA DE SEGMENTOS QUE IMPARTEN LA TOLERANCIA AL DAÑO		
UNIDIMENSIONALES	BIDIMENSIONALES	TRIDIMENSIONALES
		

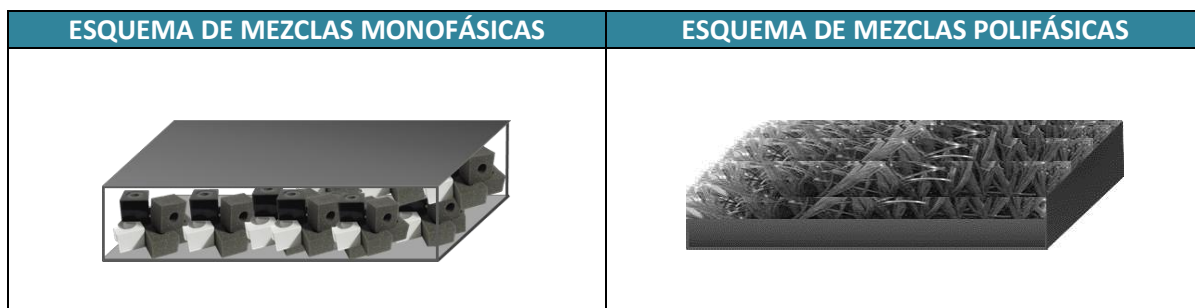
**Estructura de laminados: Híbridos tipo 5:** Las estructuras laminadas se forman a partir de materiales compuestos, los cuales pueden estar reforzados con fibras producidas como cintas o tejidos. Cuando la unión es de dos láminas se conocen como un laminado bicapa y cuando se unen más de dos láminas se conoce como un laminado multicapa. La unión de estas capas se da por medio de un adhesivo orgánico o por fusión y las propiedades resultantes de un laminado dependen de las propiedades que tenga cada una de las láminas y la disposición de cada una de ellas. En la tabla 35 se observa el esquema de los laminados (Askeland & Phulé, 2004).

Tabla 35: Esquema de los laminados (Powell, 1994)



**Estructura de mezcla por fases: Híbridos tipo 6.** La mezcla por fases es la combinación heterogénea de dos o más materiales que se caracterizan por tener cualquier configuración y escala. Para la obtención de las mezclas se requiere que uno de los materiales se encuentre en estado líquido inicialmente para permitir la adhesión de los otros materiales en el momento del secado. Las mezclas por fases pueden ser monofásicas, lo que quiere decir que uno o varios materiales estarán inmersos dentro de la fase líquida. También pueden ser polifásicas, lo que indica que uno o varios materiales están adheridos de forma superficial al material líquido en el momento del secado. En la tabla 36 se observa el esquema de las mezclas por fases.

Tabla 36: Esquema de las mezclas por fases







EL COMPORTAMIENTO DE  
LOS MATERIALES


## INTRODUCCIÓN

Es importante reconocer que el desempeño de los materiales se encuentra determinado por las propiedades de cada uno de ellos. Propiedades como las físicas, las mecánicas, las químicas son definidas en este capítulo. Este tipo de propiedades han sido estudiadas por científicos e ingenieros de materiales, lo que ha generado una completa documentación que se encuentra en manuales, los cuales permiten hacer una evaluación comparativa entre materiales antes de ser usados en una aplicación específica.

“El diseñador no busca un material, sino un perfil de propiedades (una combinación específica), por eso “piensa en el material” como un conjunto de atributos: sus propiedades”. (Selección de materiales, 2011)

## 2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES

Las propiedades de los materiales son analizadas en esta investigación bajo dos clasificaciones. La primera es: Propiedades técnicas de los materiales y la segunda es: Propiedades sensoriales o metafísicas de los materiales. Las propiedades técnicas son aquellas que bajo la medición de constantes que se encuentran normalizadas se puede comparar el comportamiento de cada material. Generalmente la medición de estas propiedades es de forma cuantitativa. Ejemplos de ellas son las mecánicas, las magnéticas, las físicas, las químicas, entre otras. Las propiedades sensoriales son las que se aprecian e identifican a través del sentido del olfato, gusto, tacto, vista y oído. Estas propiedades generan experiencias sensibles que se pueden desarrollar con los materiales y los sentidos y por esta razón la medición de ellas es generalmente cualitativa. En este capítulo se hará una descripción de las propiedades técnicas de los materiales y en el capítulo 3 se analizarán las propiedades sensoriales o metafísicas. Para la descripción de las propiedades se utilizarán categorías y niveles. Las categorías son las percepciones recibidas a través de la experiencia con el material. Y a su vez cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos en el caso de las propiedades sensoriales y valores cuantitativos en la mayoría de los casos de las propiedades técnicas.

A microscopic image showing a complex, grid-like structure of a material, possibly a crystal lattice or a biological network. The structure is composed of interconnected lines and nodes, with colors ranging from dark green to bright blue. A white rectangular box is overlaid on the image, containing the text '2.2 Propiedades físicas de los materiales'.

## 2.2 Propiedades físicas de los materiales

Las propiedades físicas son las características inherentes de los materiales que les permite ser diferenciados unos de otros. Las propiedades físicas de los materiales son las siguientes:

**Categoría: Densidad**

**Nivel: Densidad**

La densidad se define como la cantidad de masa contenida en una unidad de volumen. La densidad de los materiales varía por tres posibles razones: la masa atómica, el espaciamento atómico o el arreglo que pueda tener cada material (Serway & Beichner, 2002). En la tabla 1 se pueden observar las densidades de algunas sustancias.

**Tabla 1: Densidades de algunas sustancias (Serway & Beichner, 2002)**

SUSTANCIA	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
Oro	19.3
Uranio	18.7
Plomo	11.3
Cobre	8.92
Hierro	7.86
aluminio	2.70
Magnesio	1.75
Agua	1.00
Aire	0.0012

**Categoría: Concentración**

**Nivel: Soluble**

Una solución es una mezcla homogénea de dos o más sustancias. La sustancia disuelta se denomina soluto y está presente generalmente en pequeña cantidad en comparación con la sustancia donde se disuelve denominada solvente. En cualquier discusión de soluciones, el primer requisito consiste en poder especificar sus composiciones, esto es, las cantidades relativas de los diversos componentes. La concentración de una solución expresa la relación de la cantidad de soluto a la cantidad de solvente (Soluciones, 2011). En la tabla 2 se observan las principales clases de soluciones.

**Tabla 2: Principales clases de soluciones (Soluciones, 2011)**

SOLUCIÓN	DISOLVENTE	SOLUTO	EJEMPLOS
Gaseosa	Gas	Gas	Aire
Líquida	Líquido	Líquido	Alcohol en agua
Líquida	Líquido	Gas	O <sub>2</sub> en H <sub>2</sub> O
Líquida	Líquido	Sólido	NaCl en H <sub>2</sub> O


**Categoría: Coeficiente de rozamiento**

**Nivel: Fricción**

Cuando un cuerpo se mueve sobre una superficie o a través de un medio viscoso, como el aire o el agua, hay una resistencia al movimiento debido a que el cuerpo interactúa con sus alrededores. Dicha resistencia es lo que recibe el nombre de fuerza de fricción. Los valores del coeficiente de fricción o rozamiento dependen de la naturaleza de las superficies y los valores varían de 0.03 hasta 1.0 (Serway & Beichner, 2002). Algunos valores se pueden observar en la tabla 3.

**Tabla 3: Coeficiente de rozamiento para algunos materiales (Serway & Beichner, 2002)**

MATERIALES	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ( $\mu$ )
Acero sobre acero	0.57
Aluminio sobre acero	0.47
Cobre sobre acero	0.36
Hule sobre concreto	0.8
Madera sobre madera	0.2
Vidrio sobre vidrio	0.4
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.1
Madera encerada sobre nieve seca	0.04
Metal sobre metal lubricado	0.06
Hielo sobre hielo	0.03
Teflón sobre teflón	0.04

A microscopic image of a material surface, showing a complex, textured structure with various shades of green and yellow. The surface appears to be composed of many small, interconnected particles or fibers. A white rectangular box is overlaid on the center of the image, containing the text '2.3 Propiedades químicas de los materiales'.

## 2.3 Propiedades químicas de los materiales

Las propiedades químicas son las que producen el cambio transformación en la composición de la materia. El cambio puede considerarse como toda variación física o química que presenta un material, respecto al estado inicial y al estado final. Así, mediante el cambio, se pueden establecer las propiedades o características de la materia, antes y después del cambio (Herrera, Barreto, Torres, & R. de Clavijo, 1980). Las propiedades químicas de los materiales son las siguientes:

**Categoría: Toxicidad**

**Nivel: Tóxico**

La toxicidad es el grado de efectividad de una sustancia tóxica. Se trata de una medida que se utiliza para nombrar el grado tóxico de los elementos, tanto sobre un organismo completo, por ejemplo el ser humano o sobre una subestructura, por ejemplo una célula. Es habitual que distinga entre tres tipos de entidades tóxicas: las sustancias químicas que pueden ser orgánicas, como el veneno de algunas serpientes, o inorgánicas, como los metales pesados. Las entidades físicas como los rayos X y la toxicidad biológica a causa de virus o bacterias. La toxicidad depende de varios factores, como el tiempo de exposición a la sustancia en cuestión, la cantidad de exposiciones y la vía de administración (Definición.de, 2011). A continuación se mostrarán algunos metales, los cuales son tóxicos en altas concentraciones.

**Tabla 4: Metales tóxicos en altas concentraciones (Ciencias de la tierra y del medio ambiente, 2011).**

MATERIAL	SÍMBOLO
Mercurio	Hg
Talio	Ta
Plomo	Pb
Arsénico	Ar
Cadmio	Cd
Aluminio	Al
Berilio	Be
Níquel	Ni
Vanadio	Va
Cromo	Cr
Plata	Ag

**Categoría: Reactividad**

**Nivel: Reactivo**

Una reacción química se puede definir como un proceso de interacción entre especies químicas en el que, como consecuencia de la ruptura y formación de enlaces, se origina una nueva entidad química (Reactividad química y reacciones orgánicas, 2011). Es decir, a partir de una porción de material llamado reactivo, se obtiene un material distinto denominado producto, por medio de una reacción química y en la cual pueden influir diversos factores tales como luz, presión u otras sustancias reactivas. Cuando un material tiene muy baja reactividad química, se dice que es inerte (Herrera, Barreto, Torres, & R. de Clavijo, 1980). Materiales como el vidrio, el policarbonato (PC), el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el Politetrafluoretileno

(PTFE) se caracterizan por ser resistentes químicamente (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2009). En la tabla 5 se observan algunas reacciones químicas.

**Tabla 5: Tipos generales de reacciones químicas (Reactividad química, 2007)**

REACTIVOS	PRODUCTOS
Dos no metales	Compuesto covalente
Metal + No metal	Sal
Elemento + Oxígeno	Óxidos
Óxido básico + Agua	Hidróxidos
Óxido ácido + Agua	Ácidos
Óxido básico + Óxido ácido	Sales

**Categoría: Inflamabilidad** (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2009)

**Nivel: Combustible**

Es la facilidad que tiene un material a arder. Los materiales combustibles arden lentamente hasta consumirse completamente. Algunos ejemplos son materiales de origen vegetal y algunos polímeros como el polietileno.

**Nivel: Ignífugo**

Es la capacidad de no arder en presencia del fuego. Algunos materiales no se queman en presencia de altas temperaturas o si arden, lo hacen con mucha dificultad. Algunos ejemplos son los materiales como el Nómex®.

**Nivel: Autoextinguible**

Es la capacidad de detener el proceso de combustión cuando se retira la fuente de ignición. Algunos materiales como el formol o el PVC arden solo con la llama.

**Categoría: Acidez**

**Nivel: Acido**

La acidez de una sustancia es el grado en el que es ácida. El concepto complementario es la basicidad. El pH o potencial de hidrógeno define la acidez o basicidad de un material. El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo el pH= (0-7) ácido, el pH= (7) neutro y el pH=(7-14) básico (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2009). En la tabla 6 se observan algunas sustancias con sus respectivos pH.

Tabla 6: Acidez de algunas sustancias (Mejía Gómez &amp; Valencia Escobar, 2009)

SUSTANCIA	pH
Ácido clorhídrico	0.0
Cloruro de calcio	1.5
Hierro, acero, titanio, cerámicos.	7.0
Amoníaco	11.5
Hipoclorito de sodio	12.5
Hidróxido sódico	13.5 a 14.0

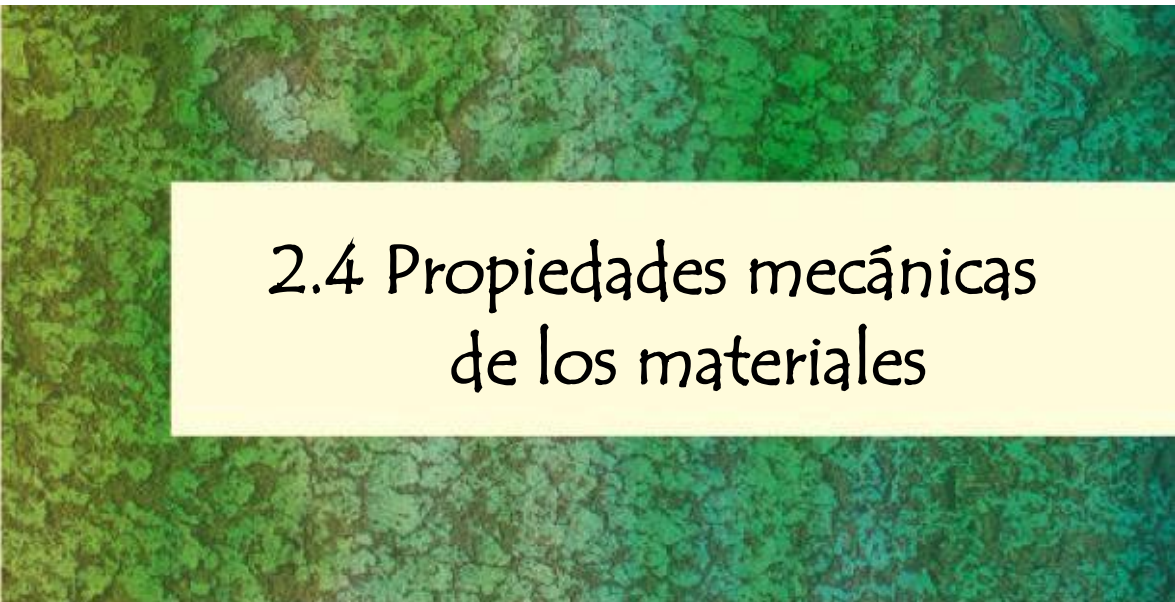
**Categoría: Resistencia a la intemperie** (Askeland & Phulé, 2004)

**Nivel: Oxidación**

Es la reacción que presenta un material en presencia de oxígeno y otros gases. Este tipo de reacciones pueden alterar la composición, propiedades o integridad de un material. Por ejemplo los metales pueden reaccionar con el oxígeno para producir un óxido sobre la superficie y esto ocurre normalmente más rápido a temperaturas elevadas.

**Nivel: Corrosión**

El proceso de corrosión consiste en el deterioro de un material metálico debido a una reacción con productos químicos. La corrosión química del cobre, del tantalio, del silicio, del bióxido de silicio y de otros materiales se puede lograr mediante condiciones extremadamente bien controladas.



## 2.4 Propiedades mecánicas de los materiales

Las propiedades mecánicas describen el comportamiento de un material sometido a fuerzas mecánicas. Los materiales que se emplean en aplicaciones de soporte de carga se llaman materiales estructurales, y pueden ser metales, cerámicas, polímeros o materiales compuestos (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000).

**Categoría: Resistencia**

**Nivel: Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido al fracturamiento se puede definir en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria (Instron, 2011). En la figura 1 se observa el esfuerzo de compresión.

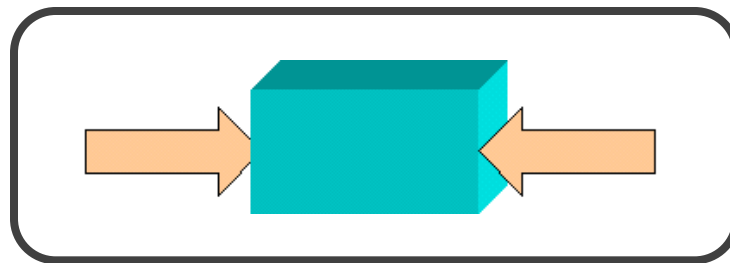


Figura 1: Resistencia a la compresión (Esfuerzos en las estructuras, 2011)

**Nivel: Resistencia a la tracción**

La resistencia a la tracción es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo fuerzas que tienden a estirarlo (Esfuerzos en las estructuras, 2011). En la figura 2 se observa el esfuerzo de tracción.

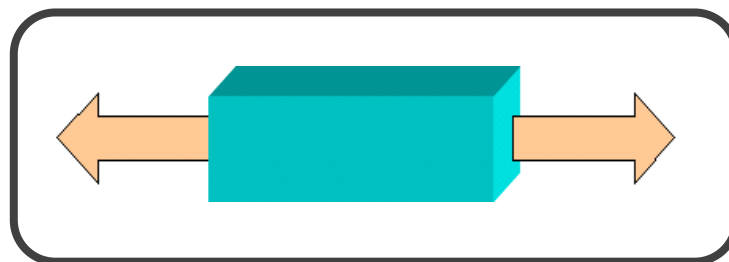


Figura 2: Resistencia a la tracción (Esfuerzos en las estructuras, 2011)

**Nivel: Resistencia en cortante**

Es el esfuerzo al que está sometida a una pieza cuando las fuerzas aplicadas tienden a cortarla o desgarrarla (Esfuerzos en las estructuras, 2011). En la figura 3 se observa el esfuerzo cortante.

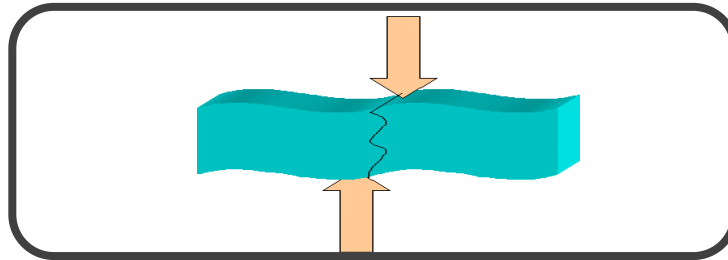


Figura 3: Resistencia cortante (Esfuerzos en las estructuras, 2011)

**Nivel: Resistencia a la cedencia**

El esfuerzo de cedencia se define como el punto en el cual, el material sufre una deformación plástica, es decir, el material pasa la zona de deformación elástica y queda deformado permanentemente. La resistencia a la cedencia puede ser a tracción compresión y cortante. El esfuerzo de cedencia, se obtiene al trazar una línea paralela a la zona elástica en la gráfica Carga Vs Elongación, pero con un desplazamiento del 2% sobre el eje X, el punto en el que esta línea se intersecta con la gráfica, es el valor del esfuerzo de cedencia (Ver figura 4) (Propiedades Mecánicas, 2011).

**Nivel: Resistencia última**

El término resistencia última está relacionado con el esfuerzo máximo que un material puede desarrollar antes de la fractura (Ver figura 4). La resistencia última puede ser a tracción compresión y cortante (Universidad Nacional de Colombia, 2011)

**Categoría: Rigidez**

**Nivel: Módulo de Young**

La rigidez tiene que ver con la deformabilidad relativa de un material bajo carga. Se le mide por la velocidad del esfuerzo con respecto a la deformación. Mientras mayor sea el esfuerzo requerido para producir una deformación dada, más rígido se considera que es el material. Bajo un esfuerzo simple dentro del rango proporcional, la razón entre el esfuerzo y la deformación correspondiente es denominada módulo de elasticidad (Ver figura 4) (Universidad Nacional de Colombia, 2011).

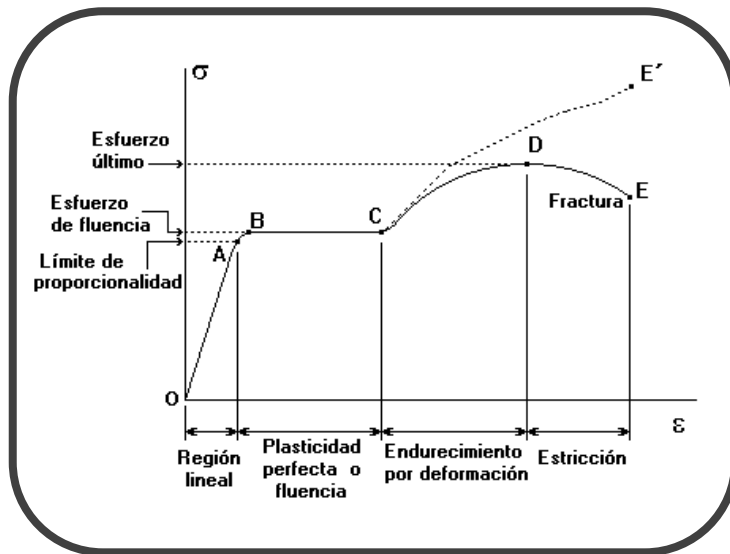


Figura 4: Diagrama Esfuerzo Vs Deformación (Ensayo de tracción en metales, 2011)

**Categoría: Dureza**

**Nivel: Dureza**

La dureza mide la resistencia de la superficie de un material a la penetración de un objeto duro. Dependiendo del contexto, puede representar resistencia al rayado o penetración y una medida cualitativa de la resistencia del material (Askeland & Phulé, 2004). En la figura 5 se observa la impresión en el área superficial de un material al ser penetrados por un cuerpo más duro.

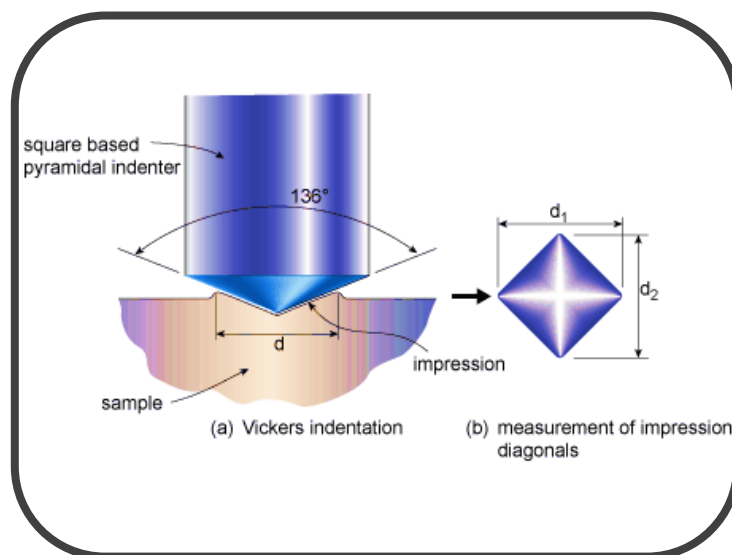


Figura 5: Medición de dureza (Ensayo de dureza, 2011)

**Categoría: Energía**

**Nivel: Resiliencia**

Es el área contenida bajo la parte elástica de una curva de esfuerzo Vs deformación. Es la energía elástica que absorbe un material durante la carga y que después se desprende, cuando se quita la carga (Ver figura 6).

**Nivel: Tenacidad**

Es el área contenida bajo la parte plástica de una curva esfuerzo Vs deformación. Es la energía absorbida por un material antes de fracturarse (Ver figura 6).

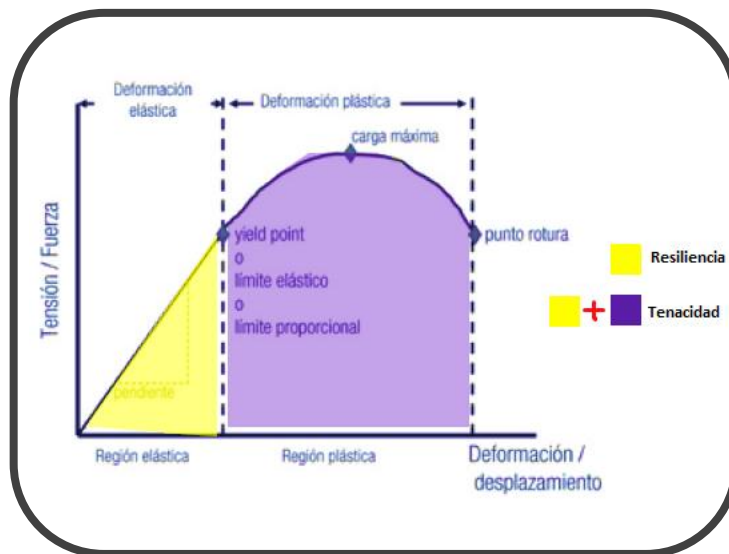


Figura 6: Energía de resiliencia y tenacidad en los materiales (Biomecánica de tejidos dentales, 2011)

**Categoría: Ductilidad**

**Nivel: Ductilidad**

La ductilidad mide la cantidad de deformación que puede resistir un material sin romperse. El porcentaje de alargamiento se define como el aumento porcentual en la longitud de la probeta y el porcentaje de reducción de área, se define como la disminución porcentual en el área transversal de la probeta. En la figura 7 se muestra el comportamiento de un material dúctil.

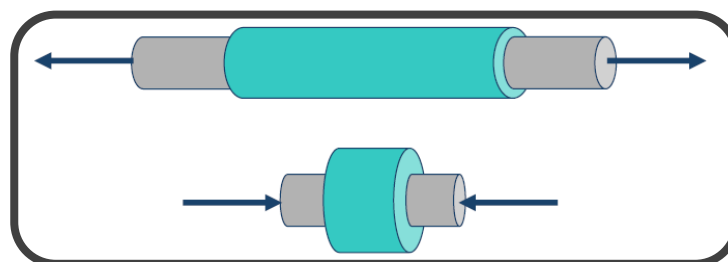
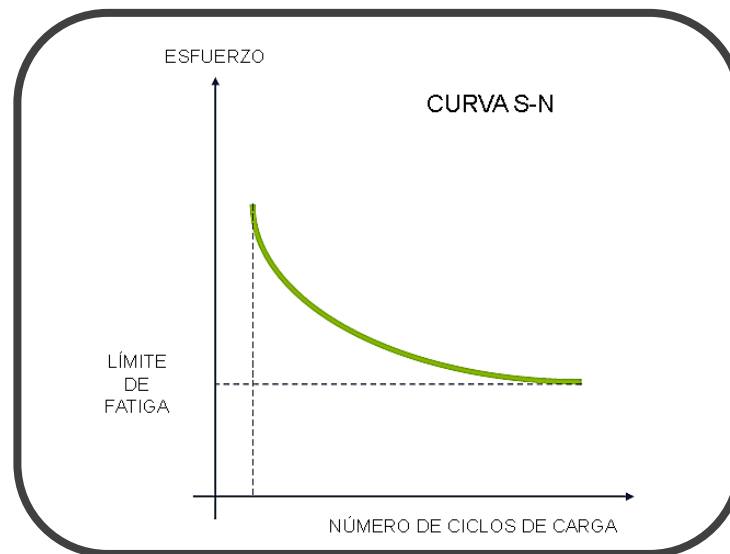


Figura 7: Comportamiento dúctil en los materiales (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2009)

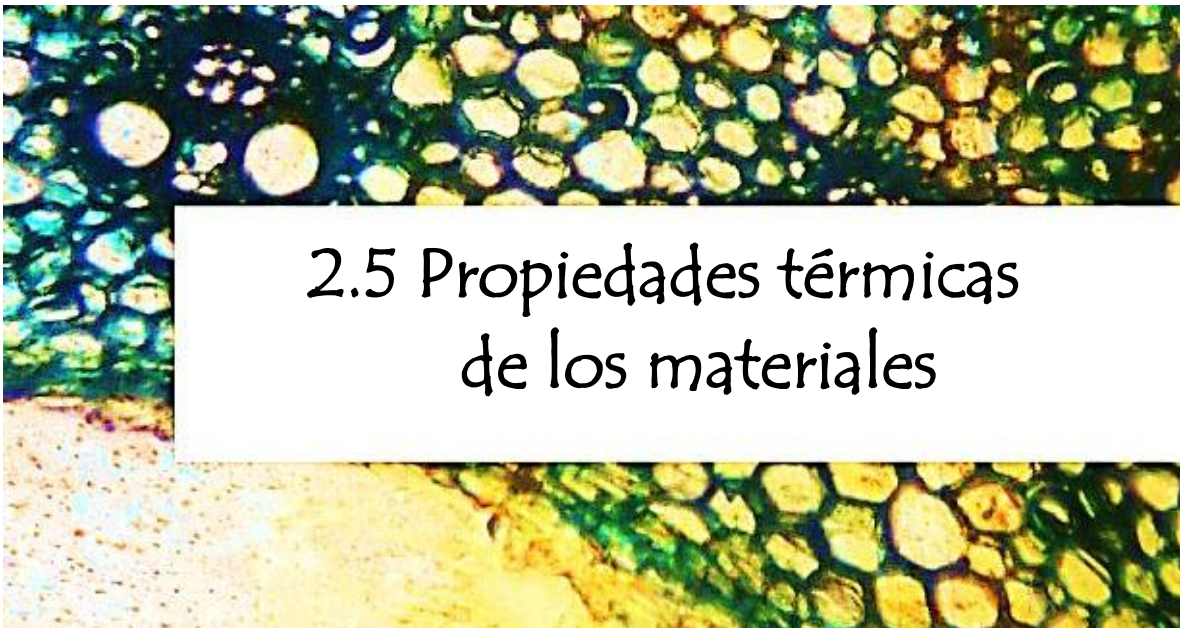
**Categoría: Fatiga**

**Nivel: Límite de fatiga**

La fatiga es la disminución de la resistencia de un material debida a esfuerzos repetitivos, que pueden ser mayores o menores que la resistencia de cedencia. Es un fenómeno común en componentes sujetos a cargas dinámicas de compresión, tracción, flexión, vibración, dilatación térmica, contracción y otros (Ver figura 8). Esos esfuerzos con frecuencia son menores que la resistencia de cedencia del material. Sin embargo, cuando el esfuerzo se aplica una cantidad suficiente de veces, causa la falla por fatiga (Askeland & Phulé, 2004).



**Figura 8: Diagrama de fatiga de los materiales (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2009)**



## 2.5 Propiedades térmicas de los materiales

Cuando se suministra calor a un sólido, la energía térmica promedio de sus átomos aumenta. Más o menos la mitad de esa energía hace que se eleve la energía potencial de los átomos, mientras que la otra mitad incrementa su energía cinética, o de vibración. Y esas vibraciones atómicas son importantes para describir la base física de las propiedades térmicas de los materiales (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000). En muchas ocasiones las propiedades mecánicas y físicas de un material dependen de la temperatura a la cual funciona o a la que será sometido durante su procesamiento. Una apreciación de las propiedades térmicas es de utilidad para la comprensión de la falla mecánica de materiales como los cerámicos, las barreras térmicas y las fibras cuando cambia la temperatura y en procesos de diseño en los cuales los materiales deben ser calentados (Askeland & Phulé, 2004).

**Categoría: Temperatura**

**Nivel: Temperatura de fusión**

La temperatura de fusión es la temperatura que requiere un material en estado sólido para pasar a un estado líquido. Generalmente esta temperatura aplica a sólidos cristalinos (Herrera, Barreto, Torres, & R. de Clavijo, 1980). En la figura 9 se muestra la temperatura de fusión de diversos metales y en la figura 10 se observa la gráfica de calor Vs temperatura para un sólido cristalino sometido a temperatura de fusión.

Metal/ Aleación	Símbolo Químico	° Centígrados
Acero	----	Aprox. 1200°
Aleaciones de Al	----	5440-650°
Aluminio	Al	660°
Antimonio	Sb	630°
Berilio	Be	1285°
Bismuto	Bi	271°
Boro	B	2300°
Bronce	----	Aprox. 1000°
Cadmio	Cd	321°
Circonio	Zr	1700°
Cobalto	Co	1495°
Cobre	Cu	1083°
Cromo	Cr	1900°
Estaño	Sn	232°
Germanio	Ge	958°
Hierro colado	----	Aprox. 1200°
Hierro puro	Fe	1536°
Inoxidable 18/8	----	Aprox. 1420°
Iridio	Ir	2454°
Latón	----	Aprox. 900°

**Figura 9: Temperatura de fusión de diversos metales (Temperatura de fusión, 2011)**

**Nivel: Temperatura de transición vítrea**

Es la temperatura crítica que separa al comportamiento frágil del comportamiento elástico a escala de tiempo del experimento. Generalmente esta temperatura aplica a sólidos amorfos (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000). En la figura 10 se observa la relación de calor Vs temperatura para un sólido cristalino (figura izquierda) y para un sólido amorfo (figura derecha).

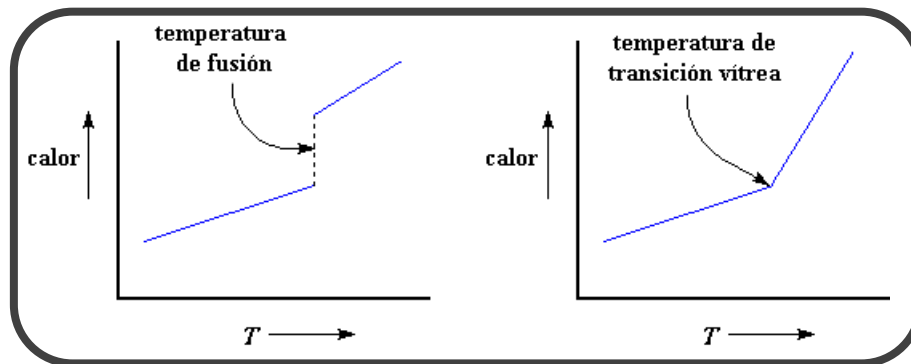


Figura 10: Relación de calor Vs temperatura de fusión y calor Vs temperatura de transición vítrea (La transición vítrea, 1997)

**Nivel: Máxima temperatura de servicio**

Temperatura máxima a la cual el material puede usarse sin que pierda sus propiedades (Selección de materiales, 2011).

**Nivel: Mínima temperatura de servicio**

Temperatura mínima a la cual el material puede usarse sin que pierda sus propiedades (Selección de materiales, 2011).

**Nivel: Conductividad térmica**

Es la velocidad con la cual se transfiere el calor a través de un material. La conductividad se relaciona con el calor que se transfiere cada segundo a través de un plano dado del área cuando existe algún gradiente de temperatura (Askeland & Phulé, 2004). En la tabla 7 se observa la conductividad térmica de varios materiales.

Tabla 7: Conductividad térmica de varios materiales (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000)

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD (W/m.K)
<b>METALES</b>	
Aluminio	300
Cromo	158
Cobre	483
Oro	345
Hierro	132
Plomo	40
<b>CERÁMICAS</b>	
Alúmina	34
Óxido de berilio	216
Óxido de magnesio	37
Carburo de silicio	93
Óxido de silicio	1.4
Vidrio de sílice	2
<b>POLÍMEROS</b>	
Polietileno	0.38
Polipropileno	0.12
Poliestireno	0.13
Politetrafluoretileno	0.25
Nailon	0.24

**Nivel: Calor específico**

El calor específico se define como la energía necesaria para elevar la temperatura de un grano de un material en 1°C. El calor específico no depende de manera significativa de la estructura del material; entonces tiene muy poco efecto los cambios en la densidad de las dislocaciones, el tamaño de grano y las vacancias (Askeland & Phulé, 2004). En la tabla 8 se observan los calores específicos de varios materiales. Los valores son experimentales a una presión constante.

Tabla 8: Calores específicos de varios materiales (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, &amp; Warner, 2000)

MATERIAL	CALOR ESPECÍFICO (J/kg.K)
<b>METALES</b>	
Aluminio	900
Cromo	448
Cobre	386
Oro	130
Hierro	448
Plomo	159
<b>CERÁMICAS</b>	
Alúmina	775
Óxido de berilio	1050
Óxido de magnesio	940
Sílice	740
<b>POLÍMEROS</b>	
Polietileno	2100
Polipropileno	1880
Poliestireno	1360
Politetrafluoretileno	1050

**Nivel: Coeficiente de expansión térmica**

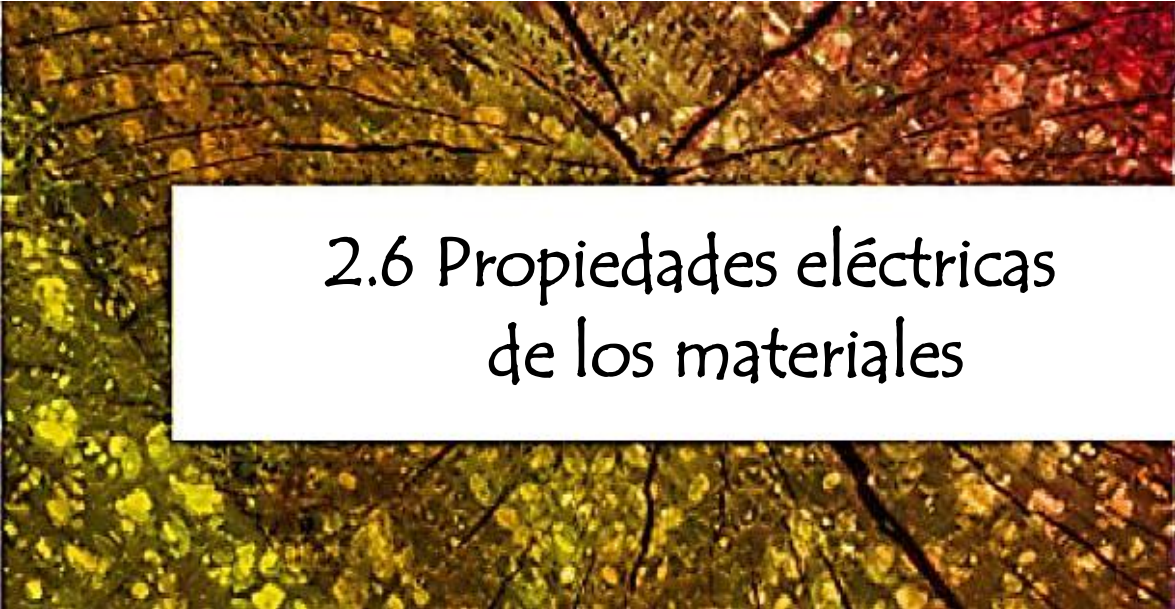
La mayor parte de los sólidos se dilatan cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000). El coeficiente de expansión térmica de un material está relacionado con la resistencia de los enlaces atómicos. Un átomo que aumenta en energía térmica y empieza a vibrar, se comporta como si tuviera un radio atómico mayor. Y por tanto, las dimensiones generales del material se incrementan (Ver tabla 9) (Askeland & Phulé, 2004).

Tabla 9: Coeficiente de expansión térmica para varios materiales (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000)

MATERIAL	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN (J/kg.K)
<b>METALES</b>	
Aluminio	25
Cromo	6
Cobre	17
Oro	14
Hierro	12
Plomo	29
<b>CERÁMICAS</b>	
Alúmina	6.5-8.8
Óxido de berilio	9
Óxido de magnesio	13.5
Silicio	2.6
<b>POLÍMEROS</b>	
Polietileno	100-200
Polipropileno	58-100
Poliestireno	60-80
Politetrafluoretileno	100

**Nivel: Resistencia al choque térmico**

Es la resistencia que presenta un material frente a cambios repentinos de temperaturas. Esta resistencia está relacionada con otras propiedades de los materiales como la tenacidad, la conductividad térmica, dilatación térmica y resistencia a la tracción. Durante los cambios de temperatura, los materiales tienden a generar fisuras las cuales se forman por las tensiones internas ocasionadas por la dilatación o contracción térmica (ThyssenKrupp Fortinox S.A., 2007).



## 2.6 Propiedades eléctricas de los materiales

La respuesta de un material a un voltaje aplicado, es un flujo de corriente a través del material, siempre y cuando éste tenga la capacidad de conducir la energía. La magnitud de la corriente es proporcional al voltaje, y la constante de proporcionalidad se conoce como resistencia. A su vez, la resistencia de un material depende de varios factores como el tipo de átomos, los enlaces atómicos, la cantidad de electrones de valencia y las dimensiones macroscópicas de la muestra (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000).

### **Categoría: Resistividad**

#### **Nivel: Resistividad eléctrica**

Todas las sustancias se oponen en mayor o menor grado al paso de la corriente eléctrica, esta oposición es a la que se llama resistencia eléctrica. Los materiales buenos conductores de la electricidad tienen una resistencia eléctrica muy baja, los aislantes tienen una resistencia muy alta. Se le llama resistividad al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos. Su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor (Zelectrónicaet, 2011).

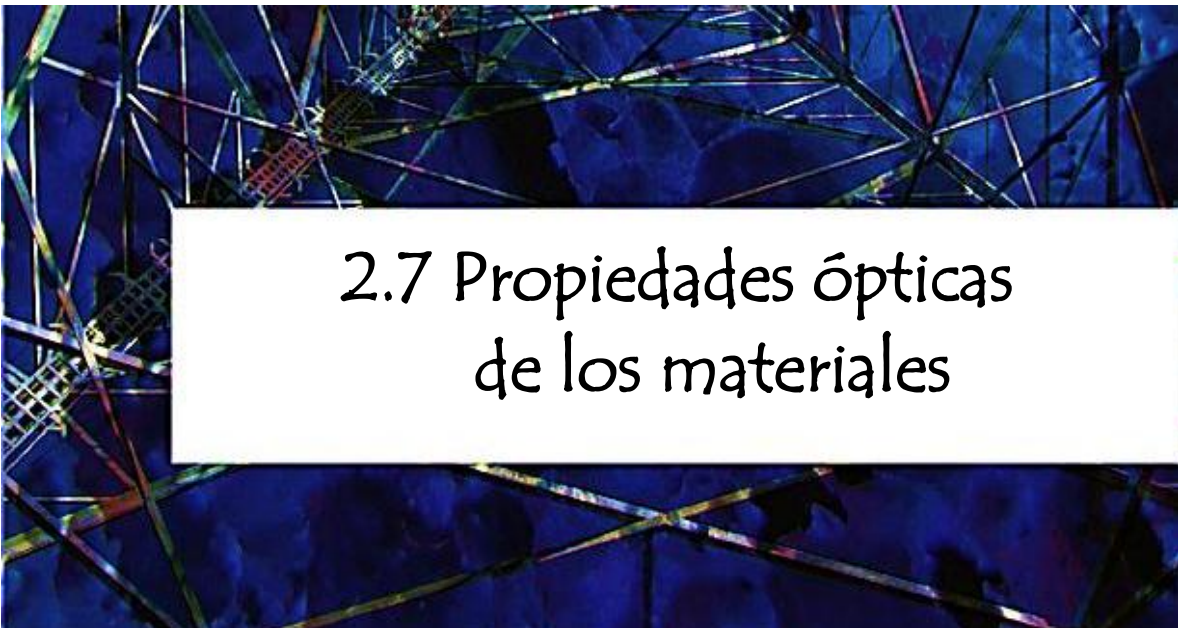
### **Categoría: Conductividad**

#### **Nivel: Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la capacidad de un cuerpo o medio para conducir la corriente eléctrica, es decir, para permitir el paso a través de él de partículas cargadas, bien sean los electrones, que son los transportadores de carga eléctrica en materiales metálicos o semimetálicos, o iones, que son los que transportan la carga en disoluciones de electrolitos (Zelectrónicaet, 2011). En la tabla 10 se observa la conductividad eléctrica para varios materiales.

Tabla 10: Conductividad eléctrica para varios materiales (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000)

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (1/( $\Omega$ .m))
<b>METALES</b>	
Aluminio	$3.8 \cdot 10^5$
Cromo	$7.8 \cdot 10^4$
Cobre	$6 \cdot 10^5$
Oro	$4.3 \cdot 10^5$
Hierro	$1.0 \cdot 10^5$
Plomo	$4.8 \cdot 10^4$
<b>CERÁMICAS</b>	
Alúmina	$<10^{-14}$
Óxido de magnesio	$<10^{-14}$
Óxido de silicio	$<10^{-14}$
Silicio	$1.0 \cdot 10^{-4}$
<b>POLÍMEROS</b>	
Polietileno	$<10^{-16}$
Polipropileno	$<10^{-15}$
Poliestireno	$<10^{-16}$
Politetrafluoretileno	$10^{-18}$



## 2.7 Propiedades ópticas de los materiales

Las propiedades ópticas de los materiales se ocupa de la respuesta de ellos a la radiación electromagnética. El comportamiento importante del material al describir las propiedades ópticas, se da cuando se expone a la luz (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000).

**Categoría: Transmitancia luminosa**

**Nivel: Transmitancia luminosa**

La transmitancia luminosa es la fracción de luz que incide sobre una superficie y tiene la capacidad de pasar a través de ella. La transmitancia es característica de los materiales transparentes, los cuales dejan pasar la luz visible a través de ellos y las formas se perciben claras y nítidas (Ver figura 13) (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2009)

**Categoría: Índice de refracción**

**Nivel: Índice de refracción**

Es el comportamiento de la luz en diferentes medios o fronteras. Por lo general cuando la luz cambia de un medio a otro medio distinto, la velocidad, la longitud de onda e incluso la dirección del rayo luminoso cambian de forma abrupta. Todos los valores del índice de refracción son mayores que 1.0, lo que quiere decir que la velocidad de la luz es menor en el material que en el vacío (Ver figura 11) (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000).

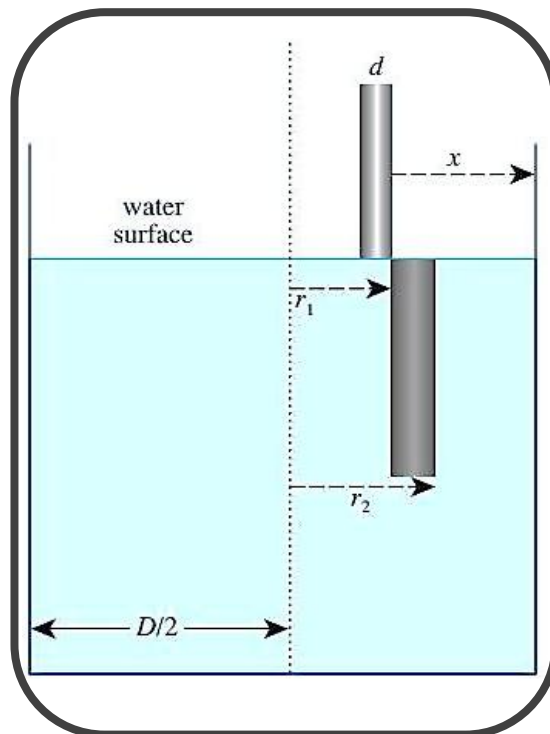


Figura 11: Índice de refracción en los materiales (Gluck, 2011)

**Categoría: Reflectividad**

**Nivel: Reflexión**

Cuando un rayo de luz llega a un medio o frontera, no todo se refracta. Una parte de la luz incidente se refleja a un ángulo igual al de la luz incidente (Ver figura 13).(Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000).

**Categoría: Luminiscencia**

**Nivel: Luminiscencia**

La luminiscencia es toda luz cuyo origen no radica exclusivamente en las altas temperaturas, por el contrario, es una forma de "luz fría" en la que la emisión de radiación lumínica es provocada en condiciones de temperatura ambiente o baja. Cuando un sólido recibe energía procedente de una radiación incidente, ésta es absorbida por su estructura electrónica y posteriormente es de nuevo emitida cuando los electrones vuelven a su estado fundamental (Framatex, 2011).

**Categoría: Apariencia**

**Nivel: Translucidez**

La translucidez es la fracción de luz que incide sobre una superficie y tiene la capacidad de pasar a través de ella, sin embargo las formas se perciben borrosas y con poca nitidez (Ver figura 12) (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2009).

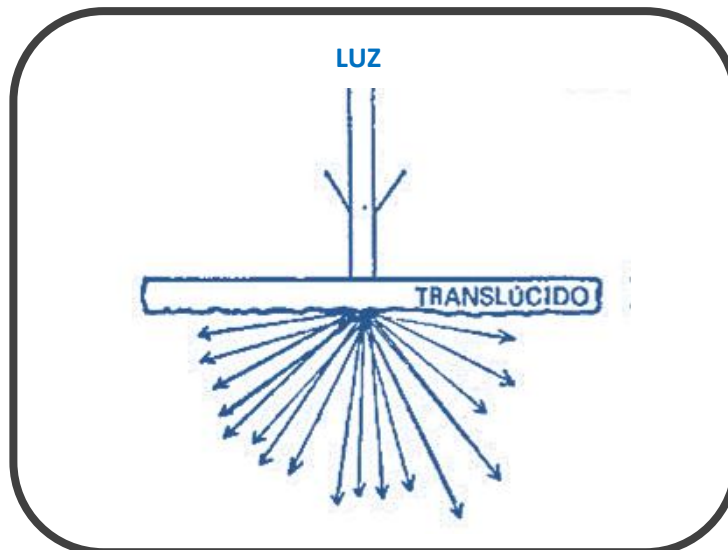


Figura 12: Translucidez en los materiales (Translucidez, 2011)

**Nivel: Opacidad**

La opacidad se da cuando una superficie bloquea el paso de la luz visible (Ver figura 13) (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2009)

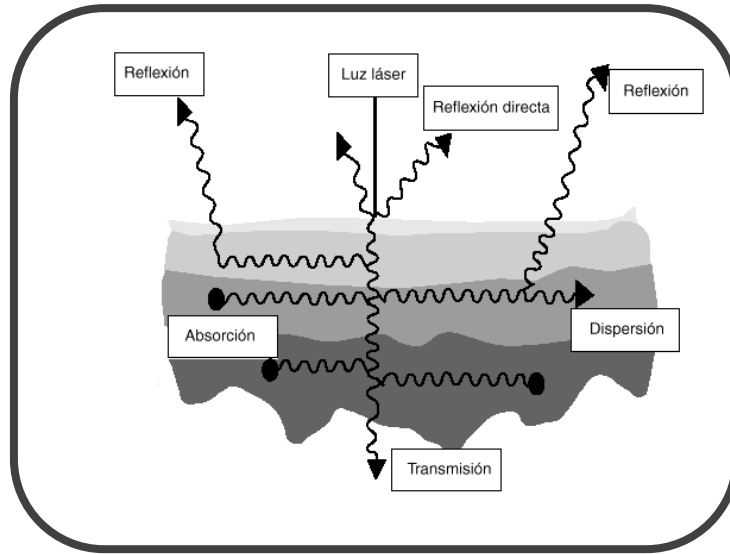


Figura 13: Propiedades ópticas de los materiales (Robledo, 2001)



## 2.8 Propiedades acústicas de los materiales

Las propiedades acústicas estudian el sonido, infrasonido y ultrasonido, es decir ondas mecánicas que se propagan a través de la materia tanto sólida como líquida o gaseosa y que no se propagan en el vacío. A efectos prácticos, la acústica estudia la producción, transmisión, almacenamiento, percepción o reproducción del sonido. La acústica considera el sonido como una vibración que se propaga generalmente en el aire a una velocidad de 343 m/s (aproximadamente 1 km cada 3 segundos), ó 1.235 km/h en condiciones normales de presión y temperatura (1 atm y 20 °C) (Toro, 2010).

### **Categoría: Acondicionamiento acústico**

#### **Nivel: Acondicionamiento acústico**

Es la capacidad que tiene un material de reflejar y dispersar el sonido homogéneamente en todas las direcciones (Ver figura 14) (diclib, 2011). Generalmente los materiales que tienen esta propiedad tienen una superficie lisa y son rígidos.

### **Categoría: Aislamiento acústico**

#### **Nivel: Aislamiento acústico**

Es la capacidad que tiene un material de no reflejar el sonido (Ver figura 14) (Armstrong, 2011). Generalmente los materiales que tienen esta propiedad tienen una estructura porosa.

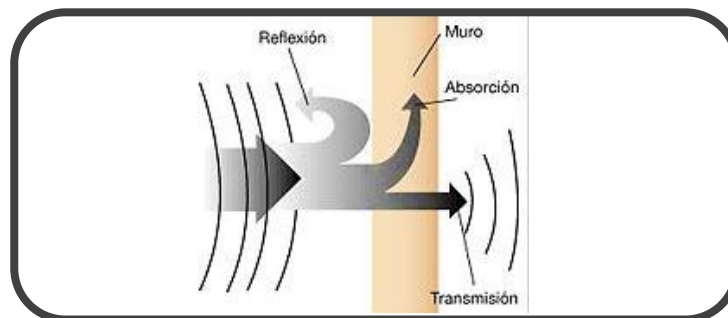
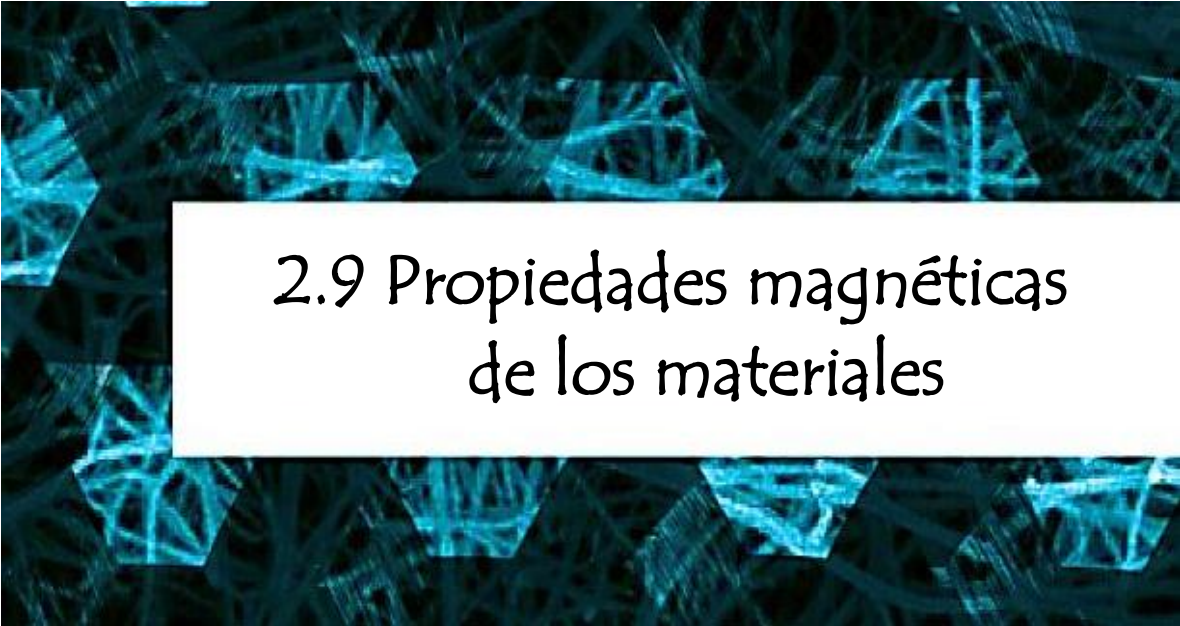


Figura 14: Propiedades acústicas de los materiales (Música y producción, 2011)



## 2.9 Propiedades magnéticas de los materiales

El magnetismo es la atracción que se genera entre dos cuerpos. Las corrientes eléctricas y, en general, las cargas en movimiento producen campos magnéticos (Fisicanet, 2007).

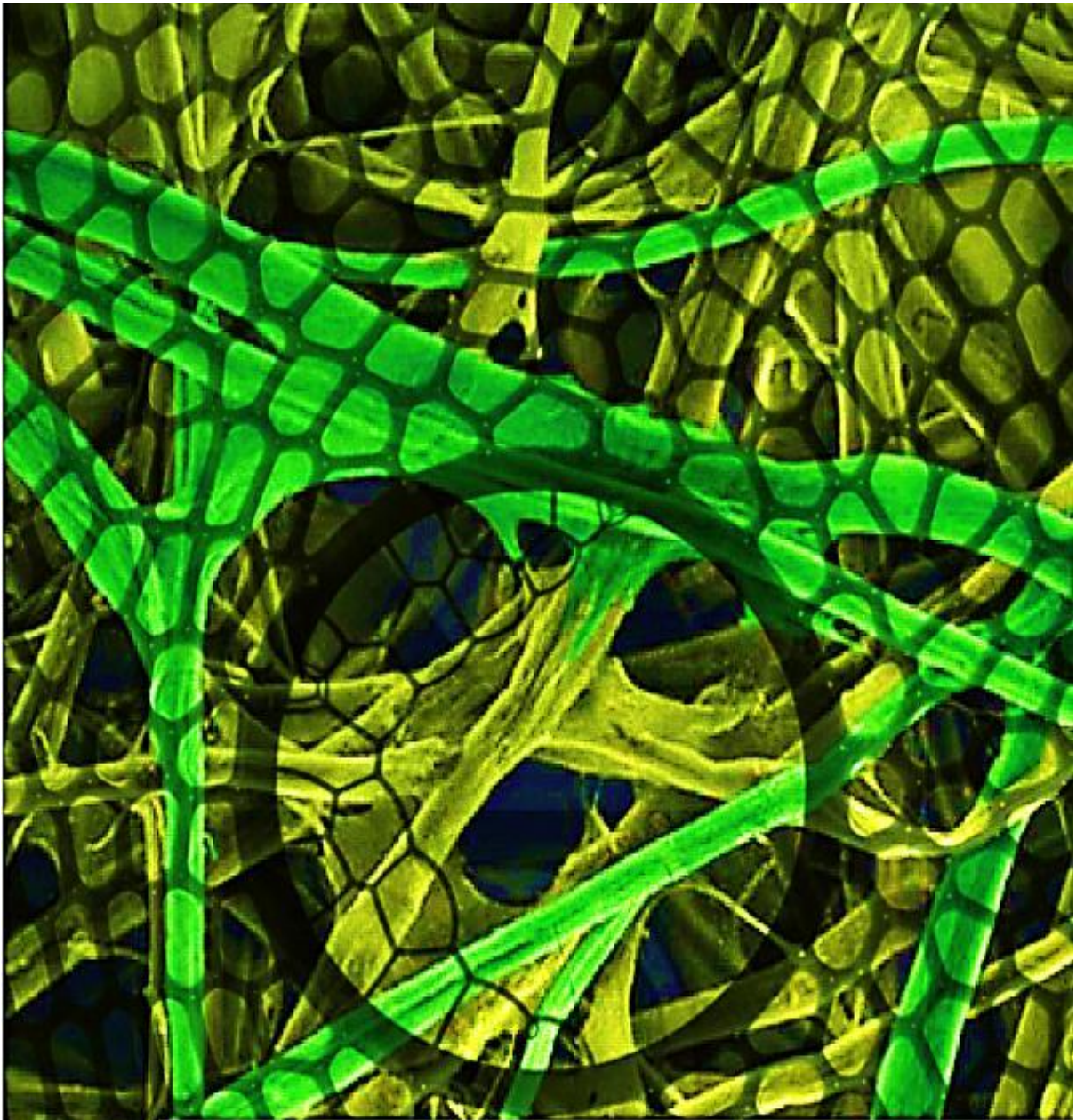
**Categoría: Magnetismo**

**Nivel: Antiferromagnético**

Característica de materiales que no son atraídos bajo acción de un campo magnético (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000).

**Nivel: Ferromagnético**

Característica de materiales que tienen una fuerte atracción por otros materiales bajo acción de un campo magnético (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000)



LOS SENTIDOS  
EN LA MATERIALIDAD

## INTRODUCCIÓN

Para comprender cómo los sentidos comienzan a ser parte de la materialidad, es necesario aclarar los conceptos que existen alrededor de la sensorialidad desde el campo de la anatomía y la fisiología, y posteriormente cómo éstos se utilizan en la selección y caracterización de los materiales. Los siguientes párrafos citan el origen de los sentidos y cómo a través del tiempo, se logró relacionar cada sentido con un órgano del cuerpo específico para poder llevar a cabo su función.

“El hombre ignoró durante mucho tiempo, el funcionamiento y la utilidad de la mayoría de sus vísceras o fantaseó sobre ellas; en cambio, muy tempranamente descubrió con toda naturalidad la relación existente entre la percepción de fenómenos externos y determinados órganos o zonas de su propio cuerpo, que podía diferenciar y localizar. Aprendió que debía agudizar la vista o el oído cuando se trataba de percibir con claridad una imagen o un sonido; utilizaba la lengua o la nariz cuando indagaba por el sabor o el olor las posibilidades comestibles de algún hallazgo aparentemente apetitoso; acercaba su cuerpo al fuego o al sol cuando sentía frío, buscaba la sombra cuando le agobiaba el calor y también supo evitar cualquier contingencia que sabía que le produciría dolor.

Así pues, desde tiempos inmemorables quedaron bien diferenciadas cinco clases de sensaciones: táctiles, visuales, gustativas, olfativas y auditivas, que con el tiempo fueron llamados sentidos corporales y cuya percepción se atribuyó a la actividad específica de cinco clases de receptores designados con el nombre de órganos de los sentidos. Más tarde la ciencia admitió esta división como parte de la fisiología y decidió que debía ser conservada y completada.

Los órganos de los sentidos son: las fosas nasales, que perciben los olores: Es el sentido del olfato; la piel, que percibe las sensaciones del tacto, calor, frío y dolor: Es el sentido del tacto; la lengua, que percibe los sabores: Es el sentido del gusto; el ojo, que percibe la luz: Es el sentido de la vista; el oído, que percibe los sonidos: Es el sentido de la audición. Cada uno de estos órganos está especializado en la percepción de una sola clase de sensaciones, para la cual posee receptores específicos. Por la importancia de los fenómenos síquicos que los acompañan, pertenecen al ámbito de la fisiología de la corteza cerebral, en donde elaboran sensaciones, es decir, fenómenos de conciencia que se agregan a los reflejos nacidos de una excitación de los receptores sensoriales.” (Jabal, 1981)

En esta medida se llega a comprender la importancia que tienen los sentidos en la rutina, ya que por medio de ellos se recibe información a través de la experiencia. Esta información que parte de una vivencia personal se puede conceptualizar, categorizar y evaluar con el fin de llegar a una clasificación que permita de forma objetiva demostrar que las percepciones y las sensaciones que en un momento son subjetivas pueden ser estandarizadas para que todas las experiencias a través de los sentidos puedan ser medibles y valoradas.

En esta investigación se parte de los cinco sentidos humanos para evidenciar que la respuesta experiencial que se tiene con los materiales también parte desde: **La conceptualización** que hace referencia al qué es y cómo funcionan cada uno de los sentidos; **La categorización** que hace referencia a características de los materiales que pueden ser analizadas y caracterizadas desde cada uno de los sentidos (Bedolla Pereda, 2002) y **la evaluación** que es la que finalmente permite valorar

de forma cualitativa o cuantitativa las características de los materiales hallados desde cada uno de los sentidos.

Para la evaluación se sugieren unos modelos de comprobación de las propiedades sensoriales de los materiales utilizando patrones fisiológicos o instrumentales que se requieren en cada uno de los casos para evidenciar las percepciones obtenidas a través de la experiencia con el material. Cuando se habla de patrones instrumentales se hace referencia a herramientas o utensilios técnicos. Los patrones fisiológicos hacen referencia a la experiencia y a las apreciaciones que utiliza cada individuo para justificar y comprobar las percepciones. Se debe tener en cuenta en la comprobación, que para todas las propiedades será siempre posible hacer una medición fisiológica e instrumental, sin embargo en esta investigación se sugiere la que sea más apropiada. Adicionalmente los procesos de comprobación deben ser realizados por adultos que no tengan discapacidades a nivel físico y a nivel cognitivo.

En la figura 1 se observan cada uno de los cinco sentidos con las características que pueden ser analizadas y caracterizadas a través de los materiales.

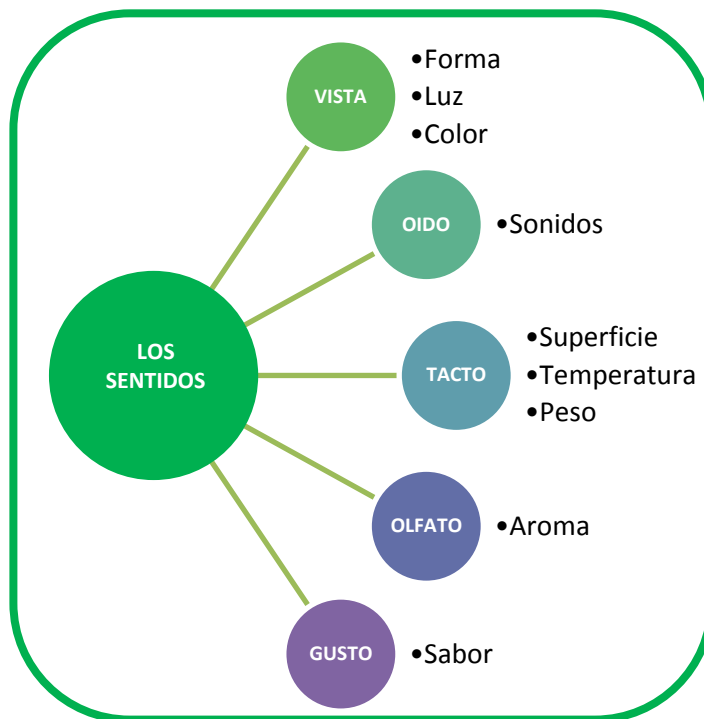
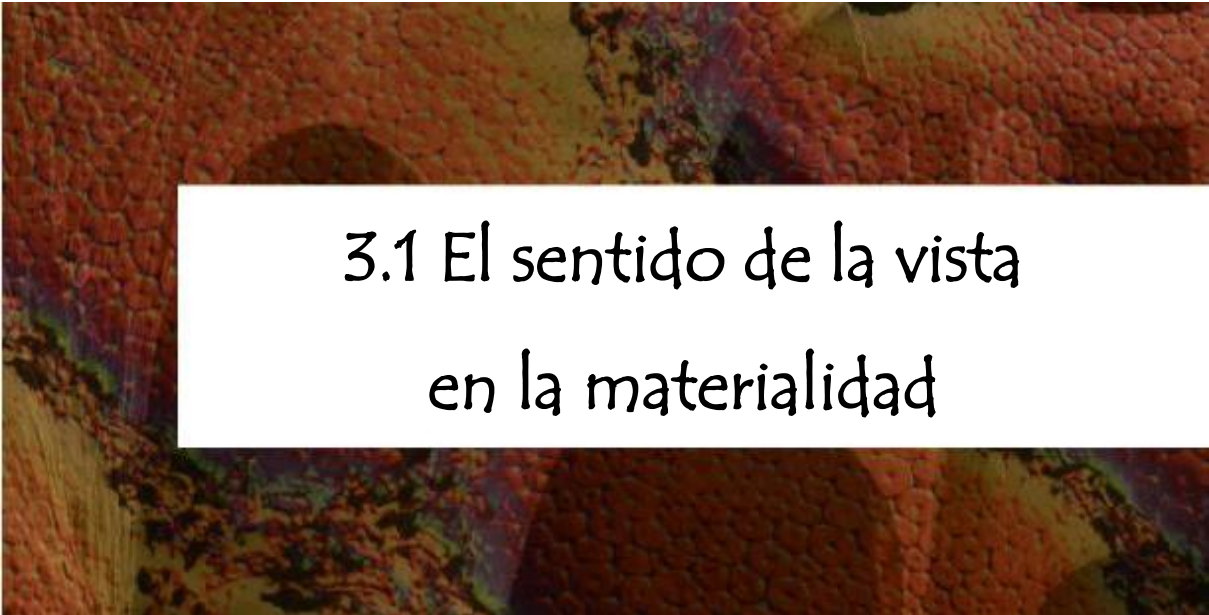


Figura 1: Categorías identificadas en los materiales a través de la sensorialidad

El objetivo de este capítulo es evaluar desde la sensorialidad, la naturaleza de los materiales y sus respectivas presentaciones comerciales. Para esto se requiere hacer un estudio de los mecanismos sensoriales humanos y a partir de ellos identificar anatómicamente el órgano que percibe la experiencia a través del material, la fisiología y los principios físicos o químicos que lo estimulan y finalmente las categorías y niveles de percepción que tiene cada órgano sensorial al entrar en contacto con el material.

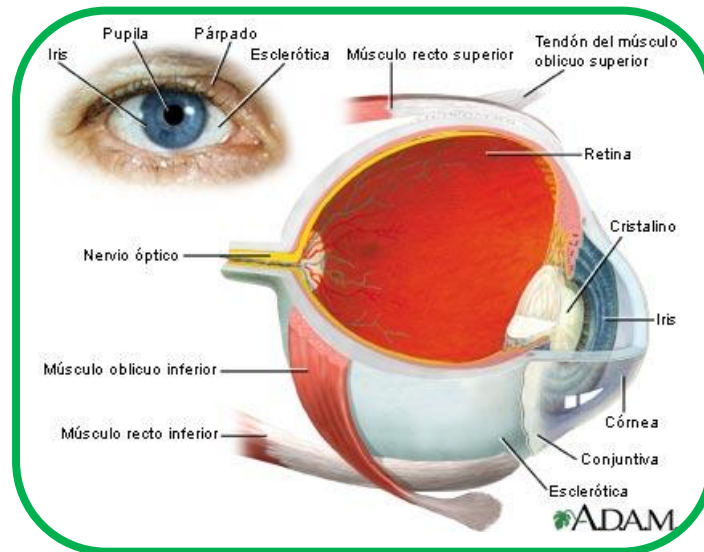


## 3.1 El sentido de la vista en la materialidad

El sentido de la vista permite percibir la forma y los colores de los objetos, de los materiales, del ambiente y de las personas.

**Tipo de estimulación de la vista:** Estimulación física.

**Constitución anatómica de la vista:** En la figura 2 se muestra la anatomía del ojo.



**Figura 2: Anatomía del globo ocular (MedlinePlus, 2011)**

**Fisiología del ojo:** El ojo es un órgano muy especializado formado por tejidos, cuya estructura y función varían de forma considerable, y cuyo diseño responde a los diversos requerimientos específicos que se le hacen. El 50 % de la información que se recibe del entorno es a través de los ojos. El ojo está formado por una esfera llamada córnea y un lente que recibe nombre de cristalino. Tras la córnea hay un diafragma, el iris, que posee una abertura conocida como la pupila y es a través de ésta que pasa la luz hacia el interior del ojo. El iris es el que define el color de los ojos y controla el diámetro de la pupila para regular la intensidad luminosa que recibe el ojo (Ver figura 3).

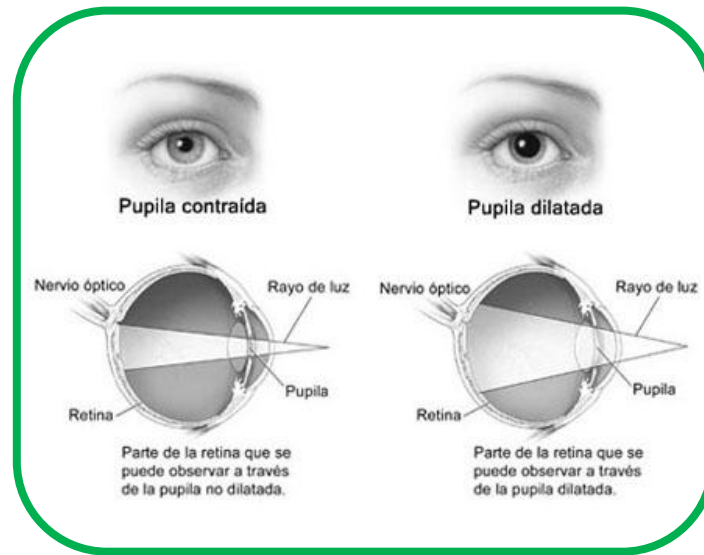


Figura 3: Cantidad de luz regulada a través de la pupila (El por qué del efecto óptico)

El cristalino es ajustable y enfoca las imágenes situadas a diferentes distancias en una zona interna del ojo denominada retina, la cual es sensible a la luz. La retina tiene diferentes células capaces de capturar la luz. Los bastones son las células que se activan en la oscuridad y permiten distinguir el blanco, el negro y los conos son células que se activan cuando los niveles de luz son muy altos. Los conos captan radiaciones electromagnéticas y rayos de luz perceptibles por el ojo humano que posteriormente serán apreciados con un color diferente (Ver figura 4).

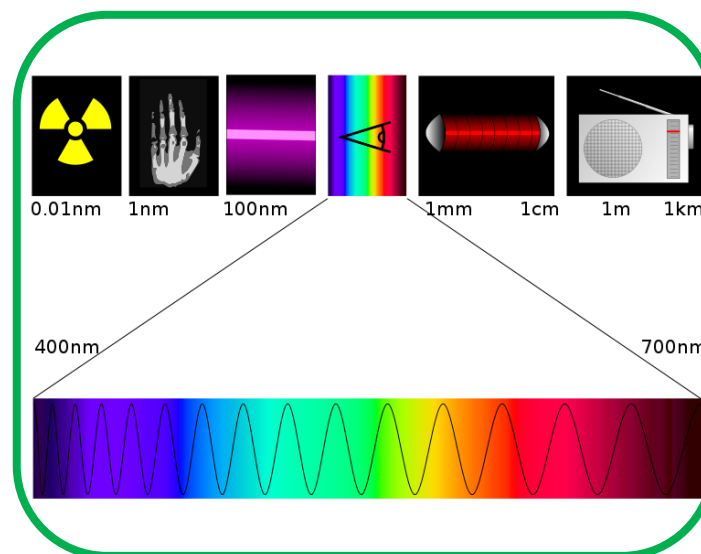


Figura 4: Espectro visible por el ojo humano ( González Estévez)

Existen tres tipos de conos y cada uno posee fotopigmentos que detectan las longitudes de onda de los colores azul, rojo y verde. Los tres grupos de conos mezclados permiten formar el espectro completo de luz visible (Kaufman & Alm, 2004). El ojo humano es un sistema óptico que trabaja de forma similar a una cámara fotográfica análoga (Ver figura 5). En este orden de ideas se puede decir que la luz penetra a través de la pupila, atraviesa el cristalino y se proyecta sobre la retina, donde se transforma por medio de unas células en impulsos nerviosos (señales eléctricas), los cuales trasladan toda la información recibida a través del nervio óptico que es la parte del ojo que se conecta con el cerebro. En el cerebro se realiza el proceso de formar los colores y reconstruir las distancias, movimientos y formas de los objetos observados.

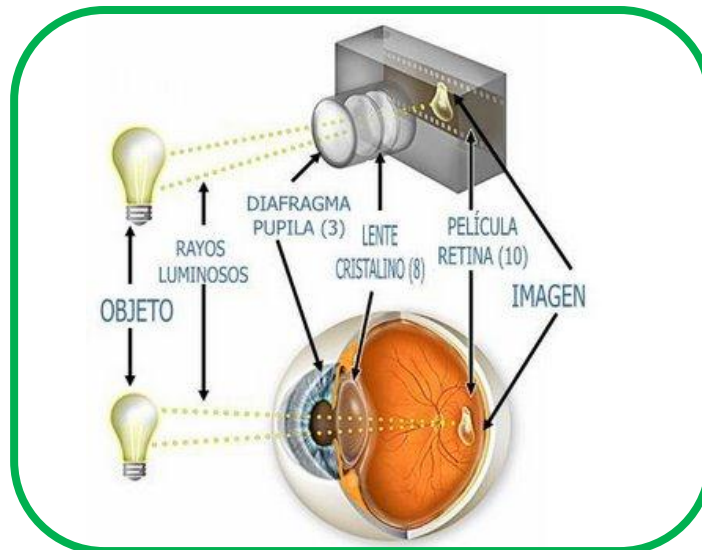


Figura 5: Comportamiento del ojo comparado con una cámara fotográfica análoga (García)

**Categorías y niveles de percepción:** A través del sentido de la vista se pueden identificar unas categorías que se definen como las percepciones recibidas a través de la experiencia con el material y los niveles que son los valores o grados que permiten evaluar las percepciones. Las categorías para el sentido del olfato son:

**3.1.1 Apariencia formal:** La forma es la disposición de elementos que forman una figura y la forma en la que se ensamblan esos elementos se denomina estructura. El término forma comprende la figura en su totalidad, desde su forma externa, interna y estructural (Otto, 1988).

La forma de los materiales se puede analizar desde su estructura interna como desde su estructura externa. La forma interna de los materiales está regida por su composición química, la cual le otorga características inhatas al material. En la figura 6 se muestra un ejemplo de cómo los elementos químicos se disponen en el espacio para generar una forma a nivel interno del material. Para visualizar la estructura interna se requiere la magnificación óptica por el tamaño de su escala (microscópicas).

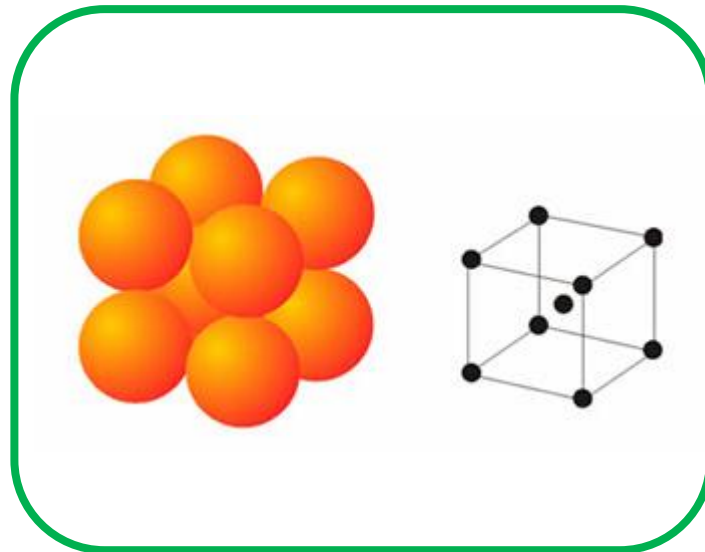


Figura 6: Elementos químicos de un material dispuestos en el espacio para generar una forma interna en el material (Textos científicos, 2006)

La forma externa de los materiales es la manifestación física de la composición interna. En la figura 7 se observan formas externas de algunos materiales y las imágenes que se ubican dentro del cuadro rojo son su representación formal a nivel interno. La forma externa de los materiales se puede presentar en estado sólido (Ver figura 8), líquido (Ver figura 9), y gel (Ver figura 10). Para visualizar la estructura externa no se requiere de la magnificación óptica por el tamaño de su escala (macroscópica).

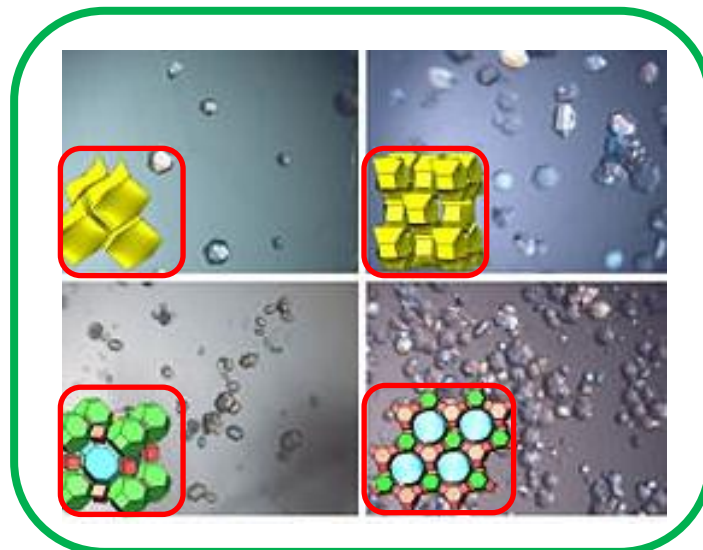


Figura 7: Presentación formal de un material a nivel externo e interno (Historia natural, 2008)

La ciencia de los materiales es la que se ha encargado del estudio de la estructura interna de la materia analizando la química y las propiedades intrínsecas del material. La ingeniería de materiales se ha dedica al estudio de la estructura externa de la materia relacionando las propiedades y los procesos de transformación de la misma. El diseño industrial finalmente utiliza los materiales que la ciencia y la ingeniería han intervenido previamente para darles una configuración formal y unas propiedades técnicas. Adicionalmente busca que estos materiales tengan propiedades sensoriales que les permita diseñar productos que puedan ser interpretados a nivel emocional.



Figura 8: Forma externa del material en estado sólido (Safe Creative, 2010)



Figura 9: Forma externa del material en estado líquido (Orsa, 2009)



Figura 10: Forma externa del material en estado de gel (Young, 2001)

#### **3.1.1.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la apariencia formal:**

A través de cada uno de los sentidos se identifican categorías que se definen como la percepción recibida a través de la experiencia con el material. Cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos que permiten evaluar las percepciones que se obtienen de cada uno de los mecanismos sensoriales (Ver tabla 1 y tabla 2).

Tabla 1: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia formal desde lo dimensional

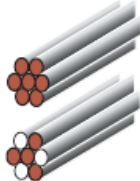
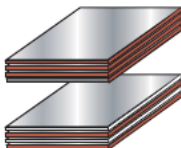
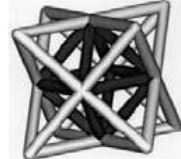
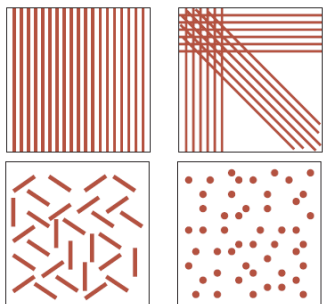
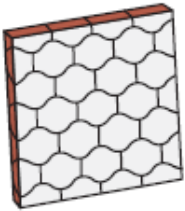
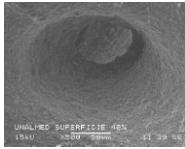
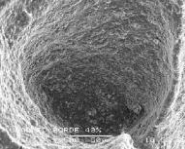

		NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
<b>TIPO 1: DIMENSIONAL</b>	<b>UNIDIMENSIONAL</b>		“Término utilizado para describir figuras que sólo se pueden medir en una dirección, como una línea, que solo tiene longitud.”	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>IMÁGENES UNIDIMENSIONAL</b> (Ashby, 2005)</p> 
	<b>BIDIMENSIONAL</b>		“Término utilizado para describir figuras planas en las que sólo se puede medir longitud y ancho.”	<p><b>BIDIMENSIONAL</b> (Ashby, 2005)</p> 
	<b>TRIDIMENSIONAL</b>		“Término utilizado para describir figuras en las que se puede medir longitud, altura y ancho.”	<p><b>TRIDIMENSIONAL</b> (Ashby, 2005)</p> 

Tabla 2: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia formal desde lo estructural

TIPO 2: ESTRUCTURAL		NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
		<b>HETEROGÉNEO</b>	La unión de varios materiales forma un cuerpo sólido.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>IMÁGENES</b></p> <p><b>HETERÓGÉNEO</b> (Ashby, 2005)</p>  <p><b>CELULAR</b>  <b>Estructura tipo panel</b> (Ashby, 2005)</p>  <p><b>Estructura de poros abiertos</b> (Mejía Gómez, 2007)</p>  <p><b>Estructura de poros cerrados</b> (Mejía Gómez, 2007)</p>  <p><b>HOMOGÉNEO</b> (Ashby, 2005)</p> 
<b>CELULAR</b>	<p>Las redes de un material se unen en vértices y placas formando aristas y caras de celdas generando así un material celular. Existen tres estructuras típicas que se pueden identificar observando el área superficial del material.</p> <p>La primera son polígonos hexagonales bidimensionales, los cuales se conocen como estructuras tipo panel.</p> <p>La segunda y la tercera estructura son poliedros tridimensionales y se conocen como espumas. Este tipo de espumas pueden tener poros cerrados si las caras son sólidas o puede tener poros abiertos si las caras están abiertas y se interconectan entre ellas.</p> <p>Los poros cerrados no son permeables a sustancias líquidas, los poros abiertos si son permeables.</p>	<p>La formación monofásica y compacta de un sólido genera un material macizo. En el área superficial del material se puede observar que consta de una única composición.</p>		
<b>HOMOGÉNEO</b>				

**3.1.2 Apariencia lumínica:** La luz es una onda que según la amplitud que tenga se puede definir la intensidad y el brillo. La intensidad es la medida absoluta de la densidad de potencia de una onda de luz y el brillo es la intensidad relativa percibida por el ojo humano promedio. Y según la frecuencia de la onda de luz se definen los colores (Elert, 2011). Según el comportamiento ante la luz, existen materiales que dejan pasar la luz a través de ellos sin dificultad (Ver figura 11), generalmente son materiales con estructura atómica amorfa como los vidrios y algunos polímeros como el polimetilmetacrilato (PMMA). También existen materiales que dejan pasar la luz, pero transmiten una imagen difusa (Ver figura 12). Los materiales que presentan estas características son polímeros o vidrios generalmente con un acabado superficial. Y finalmente hay materiales que no dejan pasar la luz a través de ellos (Ver figura 13). Este tipo de materiales tienen una estructura atómica cristalina, como por ejemplo los metales y algunos cerámicos como la alúmina o la zirconia.

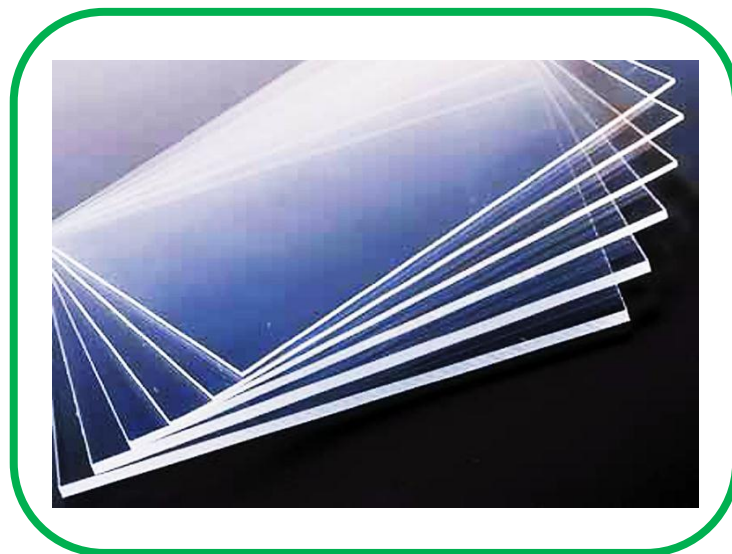
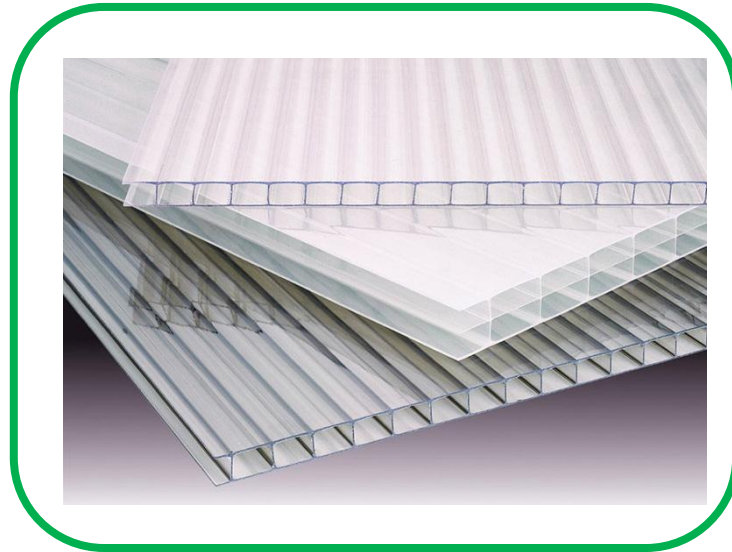


Figura 11: Materiales que permiten el paso de la luz a través de ellos (Palsticexpress)

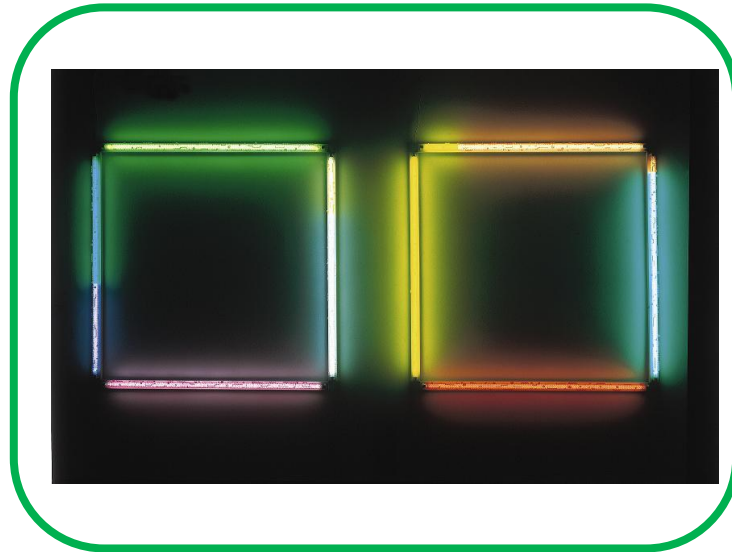


**Figura 12: Materiales que permiten el paso de la luz a través de ellos, pero transmiten una imagen difusa (Palsticexpress)**



**Figura 13: Materiales que no permiten el paso de la luz a través de ellos (Palsticexpress)**

Otros materiales son emisores de luz sin necesidad de ser sometidos a temperaturas. Son emisores de luz en el momento de ser expuestos bajo la acción de rayos ultravioletas o rayos X o también son emisores durante un tiempo, después de ser expuestos bajo la acción de estos mismos rayos (Ver figura 14). Este fenómeno ocurre por la presencia de ciertas impurezas en los materiales y se produce cuando la energía de radiación de corta longitud de onda es absorbida por los iones de la impureza y emitida como radiación de mayor longitud de onda. La willemita es un mineral del grupo de los silicatos que en algunas ocasiones presenta arsénico en su estructura como una impureza. El arsénico es el que permite que a través de la willemita se genere luz visible de color verde (luz visible).



**Figura 14: Materiales emisores de luz (Otamendi, 2011)**

Algunos materiales fluorescen solo en ondas ultravioletas cortas, mientras que otros pueden fluorescer solo en ondas ultravioletas largas y algunos otros fluoreseran bajo ambas longitudes de onda ultravioleta. El color de la luz emitida varía considerablemente con las longitudes de onda o fuente de luz ultravioleta y ni siquiera guardan alguna relación con el color natural de aquellos materiales que tienen esta propiedad. Existen algunos materiales que tienen la capacidad de hacerse luminosos al ser molidos, rayados o frotados. El cuarzo es un buen ejemplo de estos materiales (Ver figura 15).



**Figura 15: Materiales que son emisores de luz al ser molidos, rayados o frotados (Espucolor)**

Existen algunos materiales que de acuerdo a la temperatura emiten radiaciones electromagnéticas al exterior. Es frecuente, que cuando un material exhiba esta propiedad, la luz visible inicial se acentúe en un rango de temperaturas relativamente bajas, 50 a 100 °C (Ver figura 16). A estas temperaturas, el cuerpo humano percibe las radiaciones como calor, aún sin tener un contacto directo con el material. Para valores de calentamiento menores, sigue presente la radiación, y aunque no se vea la emisión de luz roja, aun se percibe el calor. Las radiaciones no visibles se denominan como radiaciones infrarrojas o se conocen también como “por debajo del rojo”. Los metales se caracterizan por emitir altas radiaciones de calor a altas temperaturas y al mismo tiempo adquirir un color rojo intenso. Sin embargo, por su capacidad de conducción térmica, a bajas temperaturas pueden emitir radiaciones de calor de baja intensidad sin tener un cambio de color.



**Figura 16: Materiales que a altas temperaturas emiten luz visible (Can Stock Photo, 2011).**

Cuando un haz de luz pasa de un medio a otro, o sea que atraviesa un segundo medio, pierde algo de su energía, y en consecuencia, cambia su velocidad y dirección. Cuando esto sucede en algunos materiales, la apariencia es brillante, como por ejemplo en los diamantes y en ciertos vidrios que tienen adición de óxido de plomo (Ver figura 17). A su vez existen materiales que tienen el efecto contrario, son antirreflexivos y lo que hacen es minimizar la reflexión de la luz sobre la superficie de ese material. (Propiedades ópticas de los materiales, 2011).



Figura 17: Materiales brillantes (Revista Nasmate)

### 3.1.2.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la apariencia lumínica:

A través de cada uno de los sentidos se identifican categorías que se definen como la percepción recibida a través de la experiencia con el material. Cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos que permiten evaluar las percepciones que se obtienen de cada uno de los mecanismos sensoriales (Ver tabla 3 y 4).

Tabla 3: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia lumínica desde la misma apariencia






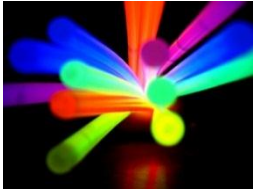
TIPO 1: APARIENCIA	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
	<b>REFRACTANTE</b>	Es una característica de los materiales transparentes o amorfos. La luz que incide sobre un material transparente lo puede atravesar, pero en algunos casos cambia el ángulo de incidencia.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p style="text-align: center;"><b>MEDICIÓN</b></p> <p><b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Alto – Medio -Bajo</p> <p style="text-align: center;"><b>IMÁGENES</b></p> <p><b>REFRACTANTE</b> (Cristal polarizador, 2011)</p>
	<b>REFLECTANTE</b>	Es una característica de los materiales cristalinos que tienen un acabado superficial liso, brillante y homogéneo. La luz que incide sobre estos materiales se refleja nuevamente conservando el ángulo del rayo incidente.	 <p><b>REFLECTANTE</b> (Gallo, 2010)</p> 
	<b>TRANSMISIVO</b>	Es una característica que se puede dar en materiales cristalinos y amorfos. La transmisión es directa cuando la luz penetra una superficie sin ser dispersada. La transmisión es difusa si un rayo de luz logra difundirse en la superficie de un material.	<p><b>TRANSMISIVO</b>  <b>Directa</b> (Fibra óptica)</p>  <p><b>Difusa</b> (123RF, 2011)</p> 
	<b>ABSORBENTE</b>	Es cuando la luz que incide sobre una superficie oscura (negra), es absorbida totalmente. Los elementos oscuros transforman la energía luminosa en calor.	<p><b>ABSORBENTE</b> (Amadine, 2010)</p> 

Tabla 4: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia lumínica desde la fotoluminiscencia

TIPO 2: LUMINISCENCIA		
NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
<b>FOSFORESCENCIA</b>	Es la capacidad que tiene algunos materiales de absorber energía y almacenarla para posteriormente ser emitida en forma de luz visible por un tiempo prolongado.	<p style="text-align: center;"><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b></p> <p><b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p style="text-align: center;"><b>MEDICIÓN</b></p> <p><b>TIPO:</b> Cualitativa <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <div style="text-align: center;">  </div>
<b>FLUORESCENCIA</b>	Es la capacidad que tiene algunos materiales de absorber energía y ser emitida en forma de luz visible solo mientras esté absorbiendo la energía.	

**3.1.3 Apariencia cromática:** El color en sí no existe, no es una característica de los objetos, es una interpretación subjetiva de cada persona. El color es realmente un fenómeno físico-químico donde los rayos luminosos o longitudes de onda llegan a los órganos visuales y son interpretados en el cerebro como diferentes colores (Netdisseny). Cuando la luz incide en la superficie de un mineral, parte de ella se refleja y parte se refracta. Si la luz no sufre absorción, el material es incoloro (Ver figura 18). Los materiales son coloreados porque absorben ciertas longitudes de onda de la luz y el color es el resultado de una combinación de aquellas longitudes de onda que llegan al ojo (Ver figura 19).



Figura 18: Materiales incoloros (García M. , 2009)



Figura 19: Materiales con color (García M. , 2009)

Algunos materiales exhiben diferentes colores cuando la luz se transmite en direcciones cristalográficas diferentes. Esta absorción selectiva es conocida con el nombre de pleocroísmo (propiedad que poseen algunos minerales de ofrecer distintos colores, según la dirección por la que se miren). En algunos casos, el color es debido a cantidades apreciables de un elemento como el hierro, que tiene poder de pigmentación (Ver figura 20). Los iones de ciertos elementos absorben la luz muy intensamente y su presencia en cantidades pequeñas, aún en trazas, puede ser la causa de que el material tenga un color intenso. Estos elementos son denominados cromóforos (sustancias que tienen muchos electrones capaces de absorber energía o luz visible, y excitarse para así emitir diversos colores, dependiendo de las longitudes de onda de la energía emitida por el cambio de nivel energético de los electrones). En la tabla 5 se observan algunos compuestos que se utilizan para pigmentación. Algunos de ellos son el hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), cromo (Cr), cobalto (Co), níquel (Ni) y vanadio (V) (Propiedades ópticas de los materiales, 2011)



Figura 20: Materiales con propiedades conocidas como pleocroísmo (Hurbult & Switzer, 1980)

Tabla 5: Compuestos para obtener pigmentos de colores (Peña Andrés, 2009)

COLOR	COMPUESTOS PARA OBTENER PIGMENTOS DE COLORES
ROJO	Selenio (Se) u Oro (Au)
AMARILLO	Sulfuro de níquel (NiS) o Sulfuro de Cadmio (CdS)
VERDE	Oxido de cromo ( $Cr_2O_3$ ) u Óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ )
AZUL VERDOSO	Oxido de cobre (CuO) u Óxido de hierro FeO
AZUL	Oxido de cobalto (CoO)
VIOLETA	Oxido de manganeso (MnO)
NEGRO	Oxido de manganeso ( $MnO_2$ ) y Oxido de níquel (NiO)
ÁMBAR	Sulfuro de hierro ( $Fe_2S_3$ ) y Carbono (C)
BLANCO	Fluoruro de calcio (CaF) o Cloruro de sodio (NaCl) suspendido en el vidrio

### 3.1.3.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la apariencia cromática:

A través de cada uno de los sentidos se identifican categorías que se definen como la percepción recibida a través de la experiencia con el material. Cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos que permiten evaluar las percepciones que se obtienen de cada uno de los mecanismos sensoriales (Ver tabla 6, 7, 8).

Tabla 6: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia cromática desde los matices


TIPO 1: MATICES	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
	MATICES PRIMARIOS	Son los matices que no se pueden obtener por medio de mezclas. Se consideran como absolutos. Los matices primarios son el amarillo, el azul y el rojo.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativo  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>IMÁGENES</b>                      (El círculo cromático, 2008)</p> 
	MATICES SECUNDARIOS	Son los matices que se obtienen mezclando al 50% dos de los matices primarios. Los matices secundarios son el violeta, el naranjado y el verde.	
	MATICES INTERMEDIOS	Son los matices que se obtienen mezclando al 50% un matiz primario y otro secundario. Los matices intermedios son el rojo – naranjado, el amarillo – naranjado.	
	MATICES NEUTROS	Son los matices que se obtienen mezclando el matiz rojo, verde y azul para obtener un matiz negro. La ausencia de matiz se denomina blanco, el cual combinado con el negro genera la escala de matices grises.	

Tabla 7: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia cromática desde el tono

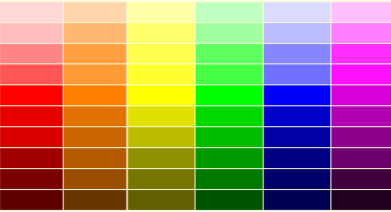

TIPO 2: TONO	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
	CLARO	El tono claro se refiere a la cantidad de luz que puede tener un matiz determinado. Los tonos claros se obtienen mezclando los matices con blanco. Dentro del círculo cromático, el amarillo es el matiz más claro ya que está muy cercano al blanco.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativo  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>IMÁGENES</b>                      (Propiedades del color, 2002)</p> 
OSCURO	El tono oscuro es la falta de luz que puede tener un matiz determinado. Los tonos oscuros se obtienen mezclando los matices con negro. Dentro del círculo cromático, el violeta es el matiz más oscuro ya que está muy cercano al negro.		

Tabla 8: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la apariencia cromática desde la saturación

		NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
<b>TIPO 3: SATURACIÓN</b>	<b>ALTA INTENSIDAD</b>	Es cuando un matiz se encuentra en estado puro, o sea que no ha sido mezclado con ningún otro matiz tiene el máximo poder de pigmentación. Los matices primarios tienen la mayor intensidad dentro de todo el círculo cromático.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativo  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>IMÁGENES</b>                      (Propiedades del color, 2002)</p> 	
	<b>MEDIA INTENSIDAD</b>	Es cuando un matiz que se encuentra en estado puro se le mezcla un matiz gris o el matiz complementario.		
	<b>BAJA INTENSIDAD</b>	Es cuando un matiz que se encuentra en estado puro se le mezcla el matiz blanco.		



## 3.2 El sentido del tacto en la materialidad

El sentido del tacto permite reconocer texturas, formas, peso, temperatura y todo aquello que pueda tener un contacto directo con la piel y con las mucosas externas. Cabe señalar que dentro del sentido del tacto, la sensibilidad de músculos, tendones y ligamentos también tiene una respuesta, debido a las resultantes modificaciones de los órganos internos (Jabal, 1981). El tacto, a diferencia de los otros sentidos se encuentra en todo el cuerpo y la manifestación del sentir se ve muy involucrada con el estado del cuerpo. “La naturaleza de la percepción táctil; oscila entre impactos y afecciones sobre el propio cuerpo y las cualidades materiales de los objetos, cualidades que tienen una resonancia corporal y emocional muy próxima al bienestar y al dolor.” (Bedolla Pereda, 2002).

**Tipo de estimulación del tacto:** Estimulación física.

**Constitución anatómica del tacto:** En la siguiente figura (Ver figura 21) se muestra la anatomía de la piel.

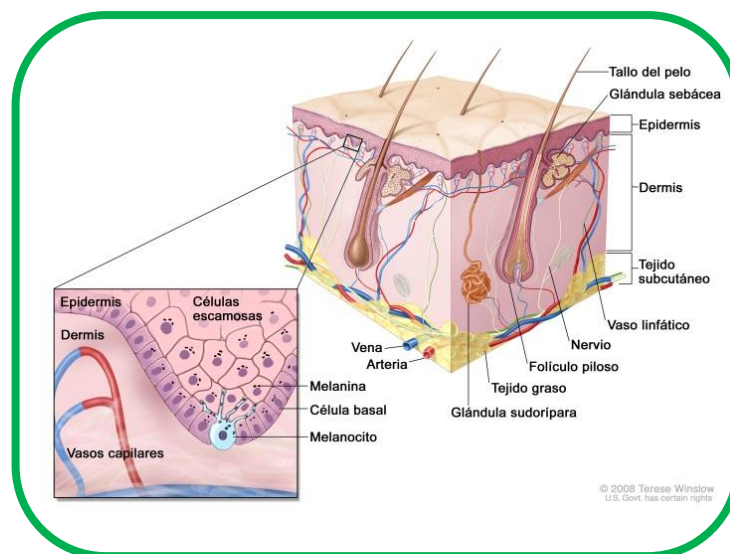


Figura 21: Anatomía de la piel (Quade, 2011)

**Fisiología de la piel:** La piel tiene receptores sensitivos repartidos en toda su superficie que le permiten el reconocimiento del medio ambiente y la defensa ante los peligros. “La piel, como órgano externo, se enfrenta a gran número de estímulos ambientales deseables o no (microorganismos, temperaturas, radiaciones o químicos). Los estímulos de intensidad fisiológica son estimulantes y estabilizan la función. Los estímulos de intensidad distinta a la fisiológica se encuentran en primer lugar con los mecanismos de defensa y protección locales de la piel.

Cuando los mecanismos de defensa y protección de la piel son superados se producen lesiones. Los estímulos adecuados provocan las sensaciones de tacto, presión, temperatura y dolor y permite el reconocimiento de la intensidad y la procedencia del estímulo (palpación de un tumor cutáneo, picadura de insecto en la espalda, uña dentro del zapato, agua demasiado caliente). Los estímulos pueden desencadenar reacciones motoras voluntarias o involuntarias reflejas. Por ejemplo el control de la motricidad de un dedo de la mano, reflejo de huida ante un estímulo doloroso. (Palomino Yamamoto, 2001).

Las modalidades de las sensaciones táctiles y térmicas, aparte de ser de naturaleza excitante, se deben a la estimulación de receptores específicos para cada una de estas sensaciones, que se hallan extendidos por toda la superficie cutánea, donde ocupan zonas delimitadas (puntos de presión, de

calor, de frío), cuya excitación origina precisamente la sensación correspondiente y no otra. La piel, es por tanto, además de la envoltura general del cuerpo que protege los órganos subyacentes y que desempeñan funciones muy importantes, el soporte de estos microrreceptores táctiles que en su espesor se hallan alojados.

El sistema tegumentario o piel recubre todo el cuerpo y el interior de las aberturas naturales, en donde cambia su configuración para constituir las mucosas. En ella hay que considerar una cara externa libre o superficial y otra adherente o profunda, la cual se une a los órganos subyacentes mediante una capa de tejido conjuntivo que engloba lóbulos de grasa (tejido celular subcutáneo). La piel se compone de dos capas superpuestas: una capa profunda, la dermis o corión y una capa superficial, la epidermis, formada por células epiteliales (células epidérmicas), cuya forma y propiedades biológicas se modifican a medida que se hacen superficiales; se divide en dos capas, la capa profunda de Malpighi donde se acumula el pigmento que le confiere color a la piel y la capa superficial o capa córnea, la cual se compone de células muy superficiales que se desprenden de la epidermis como elementos muertos (descamación fisiológica).

Los nervios de la piel terminan en corpúsculos sensitivos que son: los de Pacini, los de Meissner, los de Krause y los de Ruffini (Ver figura 22). Los corpúsculos táctiles, se pueden dividir en órganos de la sensibilidad a la presión (cutánea y profunda) y órganos de la sensibilidad táctil. Los primeros son los llamados corpúsculos de Pacini y responden a los cambios de presión diciéndole al cerebro qué es lo que lo que los presiona y también qué movimientos hacen las articulaciones o de qué modo están cambiando de posición los órganos cuando el cuerpo humano está en movimiento. No se necesita mucha presión para hacerlos responder y enviar mensajes al cerebro; son sensibles a las sensaciones de vibración o variación, especialmente las de alta frecuencia. Se encuentran cerca de las articulaciones, en algunos tejidos profundos, así como en las glándulas genitales y mamarias.

Los corpúsculos de Meissner, son los responsables de la sensibilidad para el tacto ligero y las vibraciones, solo pueden detectar que algo está tocando la piel y están ubicados encima de las papilas dérmicas. Están constituidos por tejido conjuntivo; exteriormente se muestra un tubo nervioso que se ramifica y se introduce entre las células intersticiales nerviosas. También se encuentran los órganos de la sensibilidad dolorosa, son receptores específicos para el dolor, no adoptan formas diferenciadas de modo particular, son simplemente terminaciones nerviosas que arborizan los intersticios del epitelio cutáneo. Cuando se siente dolor, suele doler el sitio localizado, pero responde el cuerpo entero.

Los órganos de la sensibilidad térmica se clasifican en los receptores sensibles al frío, los corpúsculos de Krause, y los receptores sensibles al calor, los corpúsculos de Ruffini. A diferencia de otras informaciones táctiles, las de temperatura le informan al cerebro de los cambios constantes de la temperatura y en esa medida el cuerpo genera una respuesta sintiendo frío con un espectro corporal más amplio que cuando está haciendo calor. La mayoría de las mujeres generalmente tiene las extremidades del cuerpo más frías que los hombres ya que cuando esto sucede es porque el cuerpo está protegiendo los órganos vitales y reproductores enviándoles más sangre. (Jabal, 1981)

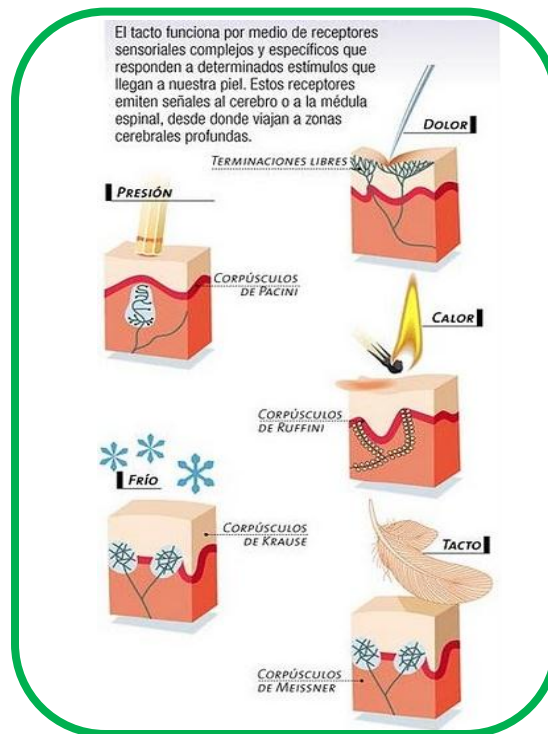
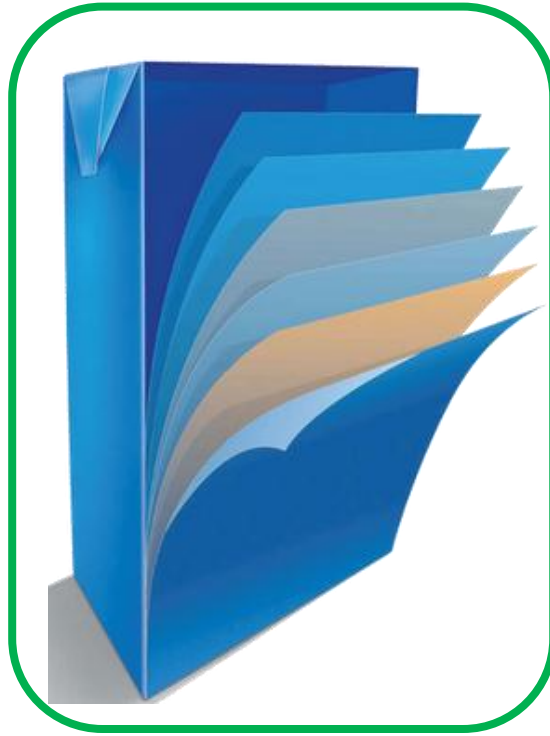


Figura 22: Receptores sensoriales de la piel (Sensación y percepción, 2010)

**Categorías y niveles de percepción:** A través del sentido de la vista se pueden identificar unas categorías que se definen como las percepciones recibidas a través de la experiencia con el material y los niveles que son los valores o grados que permiten evaluar las percepciones. Las categorías para el sentido del tacto son:

**3.2.1 Condición superficial:** La superficie de los materiales aportan información acerca del comportamiento del material frente a un medio externo. La superficie de los materiales protegen y embellecen, pero también añaden nuevas propiedades a los materiales que consiguen mejorarlos, hacerlos más resistentes, longevos e inteligentes. Para esto se han desarrollado diferentes tecnologías de transformación que trabajan sobre un material base que por su propia naturaleza necesita ser sometido a un proceso para adquirir las características superficiales requeridas.

La superficie de los materiales está compuesta de capas de átomos que no solo tienen entidad propia, como la piel respecto al cuerpo humano, sino que también realizan algunas de sus funciones. La superficie protege al material del entorno y las condiciones en el que va a trabajar, ya sea altas temperaturas, medios químicos, medios biológicos o fricción por contacto. Esta superficie evita la oxidación, la corrosión o el desgaste en la totalidad del material. En algunos casos se le exige que impermeabilice el paso de determinadas sustancias, como el oxígeno o la radiación infrarroja dependiendo de la aplicación (Ver figura 23).



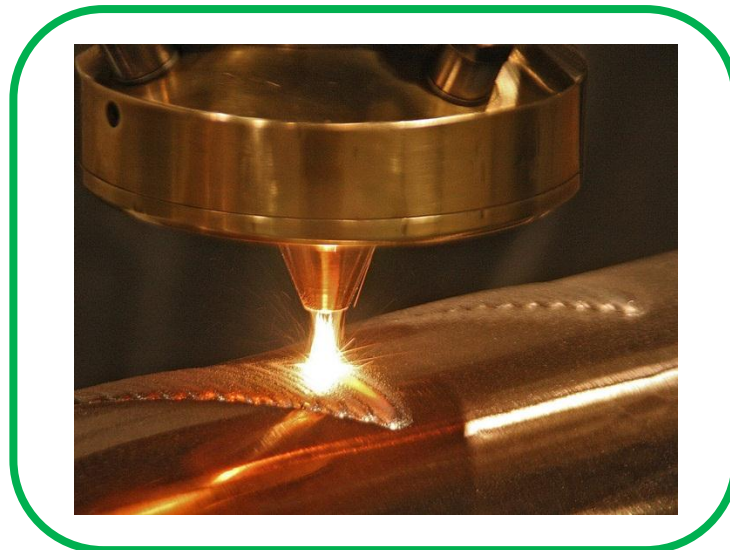
**Figura 23: Superficie de un material formado por múltiples capas, donde cada una de ellas cumple una función específica (Azócar, 2009)**

La superficie también otorga características estéticas al material. La superficie de un material puede tener la rugosidad necesaria para mostrarse mate o brillante o para ser deslizante o antideslizante. También puede lucir diferentes colores para generar sensaciones y tener diferentes texturas, pesos y temperaturas para producir diversas experiencias (Ver figura 24). Para conseguir esta versatilidad, la ciencia y tecnología de los materiales actúa sobre un material base o sustrato mediante recubrimientos y tratamientos, que le aportan un valor. Al recubrir un sustrato con un material diferente en forma de película delgada se puede generar una capa con una composición química determinada que varía de forma progresiva desde el sustrato hasta la superficie.



**Figura 24: Superficies que le otorgan características estéticas al material (Pond and Landscape Solutions, Inc., 2011)**

Mediante radiación electromagnética (fotones), procesos de calentamiento y enfriamiento, interacción con partículas (incluidos iones, átomos, moléculas, partículas sólidas o fundidas...) se altera únicamente la capa externa del material (Ver figura 25). La región modificada se caracteriza, entre otras variables, por su espesor, composición, homogeneidad y adhesión, parámetros que las técnicas de análisis deben medir para controlar los cambios efectuados y diseñar materiales con nuevas prestaciones (Castro, Rios, & Puértolas, 2011).



**Figura 25: Proceso productivo para alterar la capa superficial de un material (Castro, Rios, & Puértolas, 2011)**

**3.2.1.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la condición superficial:**

A través de cada uno de los sentidos se identifican categorías que se definen como la percepción recibida a través de la experiencia con el material. Cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos que permiten evaluar las percepciones que se obtienen de cada uno de los mecanismos sensoriales (Ver tabla 9, 10, 11, 12).

**Tabla 9: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la condición superficial desde la textura**

		<b>NIVELES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COMPROBACIÓN</b>
<b>TIPO 1: TEXTURA</b>		<b>LISO</b>	Característica de la superficie de un material que no tiene asperezas, salientes ni arrugas.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN TIPO:</b> Cualitativa <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>COMPARACIÓN</b> Para evaluar cada nivel se utilizan las lijas de agua con soporte de papel como punto de comparación.</p> <p>CORTANTE: Lija de agua 40-50 PUNZANTE: Lija de agua 60-80 RUGOSO: Lija de agua 100-120 LISO: Lija de agua 150-180 SUAVE: Lija de agua 240-400</p>
		<b>RUGOSO</b>	Característica de la superficie de un material formado por estrías, surcos o escamas.	
		<b>PUNZANTE</b>	Característica de la superficie de un material formado por puntas agudas.	
		<b>CORTANTE</b>	Característica de la superficie de un material formado por filos.	
		<b>SUAVE</b>	Característica de la superficie de un material que puede tener salientes arrugas, surcos o estrías, pero a su vez permite un deslizamiento en la superficie.	

Tabla 10: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la condición superficial desde la dureza

	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
TIPO 2: DUREZA	RIGIDO	Característica de materiales que no se pueden doblar ni torcer.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Alto-Medio-Bajo</p> <p><b>COMPARACIÓN</b>                      Para evaluar cada nivel se utiliza la fuerza humana para determinar la resistencia del material.</p>
	FLEXIBLE	Característica de materiales que se doblan fácilmente sin romperse.	

Tabla 11: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la condición superficial desde la fricción

	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
TIPO 3: FRICCIÓN	DESLIZANTE	Característica de la superficie de un material que permite el movimiento o el deslizamiento de una superficie sobre otra.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>COMPARACIÓN</b>                      Para evaluar cada nivel se utilizan las lijas de agua como punto de comparación.</p> <p>DESLIZANTE: Lija de agua 150-400                      ANTIDESLIZANTE: Lija de agua 40-120</p>
	ANTIDESLIZANTE	Característica de la superficie de un material que impide o reduce el deslizamiento de una superficie sobre otra.	

Tabla 12: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la condición superficial desde la humedad

		NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
TIPO 4: HUMEDAD	SECO		Es la ausencia de un líquido en la superficie de un material.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>COMPARACIÓN</b>                      Para evaluar cada nivel se utilizan el tacto con la piel para determinar si existe o no la presencia de líquidos en la superficie del material.</p>
	MOJADO		Es la presencia de un líquido en la superficie de un material.	

**3.2.2 Temperatura:** La temperatura se define como “La cantidad de energía térmica poseída por un cuerpo.” (Day, 2003). La temperatura es una magnitud que identifica lo frío y lo caliente. A mayor temperatura se dice que el material está mas caliente, ya que sus átomos tienen mayor vibración y se mueven a altas velocidades (Ver figura 26). Y viceversa, a menor temperatura, el material se considera más frío porque el movimiento y las vibraciones de los átomos disminuye (Ver figura 27). De acuerdo a esto, la temperatura también se podría definir como la actividad molecular que existe en cada material. (Askeland & Phulé, 2006)

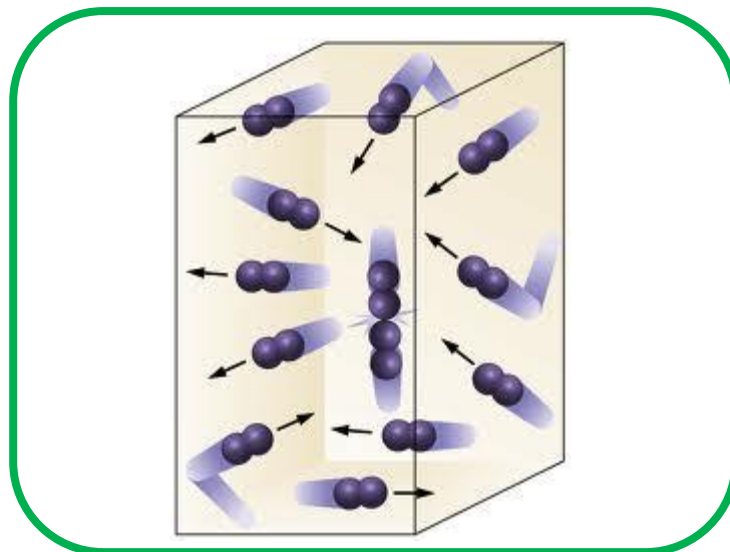


Figura 26: Comportamiento de los átomos a altas temperaturas (Lozano, 2011)

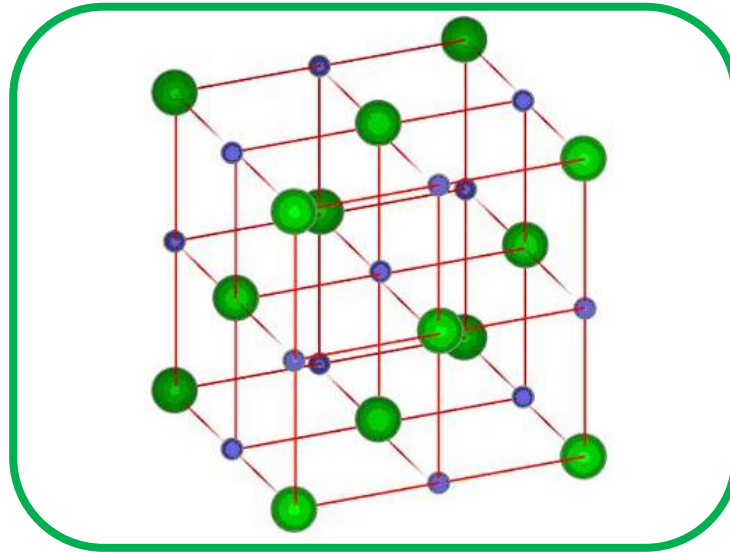


Figura 27: Comportamiento de los átomos a bajas temperaturas (Química industrial, 2011)

Los materiales pueden cambiar su estado y pueden cambiar sus propiedades fisicoquímicas en función de la temperatura. Por ejemplo los materiales en estado sólido pueden pasar a un estado líquido o también a un estado viscoso, pueden aumentar o disminuir su volumen o su conductividad térmica. La mayor parte de los sólidos se dilatan cuando se calientan, y se contraen cuando se enfrían. De los materiales cristalinos, los metales suelen dilatarse menos que la mayoría de los polímeros y los cristales cerámicos tienen una dilatación menor que los materiales metálicos.

La conducción térmica a través de un sólido se da desde las zonas con altas temperaturas, hacia las de baja temperatura (Ver figura 28). Algunos materiales tienen una conductividad térmica que crece en forma continua con la temperatura. Por ejemplo los vidrios, los refractarios, el nylon y el platino. Los demás materiales, incluso el hierro, la alúmina, la sílice fundida y el grafito, tienen un valor mínimo de conductividad a una temperatura intermedia. Esto es, al aumentar la temperatura, la conductividad de esos materiales decrece al principio, llega a un valor mínimo y después se eleva de nuevo.

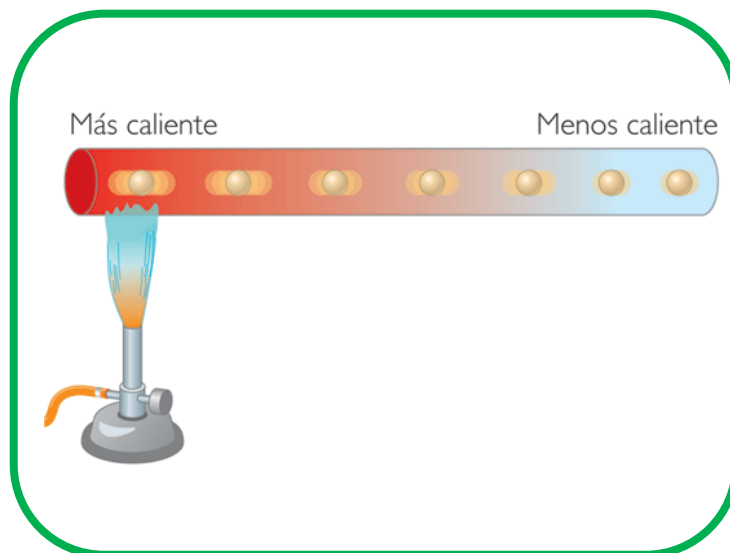


Figura 28: La conducción térmica a través de un material sólido se da desde las zonas con altas temperaturas, hacia las de baja temperatura (Pérez, 2009)

Cuando hay un cambio de estado en la materia por efectos de la temperatura, se habla de un proceso de fusión. Este proceso permite que a una temperatura constante se pueda fundir un sólido. Esta temperatura es diferente para cada material y se conoce como temperatura de fusión. Dentro del grupo de los materiales se encuentra que los materiales cerámicos generalmente requieren de una temperatura de fusión mayor que la de los metales. Y los polímeros habitualmente tienen una temperatura de fusión menor que los metales y los cerámicos (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000).

Al tocar un material, las sensaciones fisiológicas que se reciben de calor o frío son aproximadas, ya que existen variables como las sensaciones previas del individuo, la sensibilidad de la piel del individuo, la velocidad de interacción para intercambiar calor entre un material y el individuo y sobre todo la temperatura corporal que tiene el individuo en el momento de entrar en contacto con un material. Por ejemplo, si la temperatura corporal está por debajo de los  $37^{\circ}\text{C}$ , que es la temperatura promedio de un ser humano, al entrar en contacto con un material, percibirá éste más caliente, pero si la temperatura corporal está por encima de los  $37^{\circ}\text{C}$ , sucederá todo lo contrario. Por esa razón el tacto para la medición de la temperatura no es un método que permita determinar valores precisos (Rivero, 2010).

### 3.2.2.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde la temperatura:

A través de cada uno de los sentidos se identifican categorías que se definen como la percepción recibida a través de la experiencia con el material. Cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos que permiten evaluar las percepciones que se obtienen de cada uno de los mecanismos sensoriales (Ver tabla 13).

Tabla 13: Los valores que permiten evaluar las percepciones de la temperatura desde la misma temperatura

	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
<b>TIPO 1: TEMPERATURA</b>	<b>CÁLIDO</b>	La temperatura mide la energía media de las moléculas que componen un material. Entre mayor sea la velocidad del movimiento de los átomos, mayor es la temperatura.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>COMPARACIÓN</b>                      Se compara la temperatura del material con la temperatura ambiente que es 23°C</p> <p>CÁLIDO: Temperaturas superior a 23°C                      AMBIENTE: Temperatura igual a 23°C                      FRÍO: Temperatura inferior a 23°C</p>
	<b>AMBIENTE</b>	La temperatura ambiente es una temperatura que tiene unos rangos de variación pequeños y es generada por la radiación de energía de los elementos que conforman el entorno.	
	<b>FRÍO</b>	La temperatura mide la energía media de las moléculas que componen un material. Entre menor sea la velocidad del movimiento de los átomos, menor es la temperatura.	

**3.2.3 Peso:** El peso se define como “resultante de la acción que ejerce la gravedad sobre un cuerpo. El peso de un cuerpo se mide por el esfuerzo necesario para sostenerlo” (García R. , 1995). En los materiales, el peso puede ser controlado, ya sea para aumentarlo o disminuirlo dependiendo de la necesidad y de la aplicación. Los materiales están formados por elementos químicos, estos elementos tienen un peso atómico característico que es la masa promedio de los átomos que lo componen. Conociendo el peso atómico de los elementos se puede calcular el peso de un compuesto (Askeland & Phulé, 2006). Si por ejemplo lo que se busca es disminuir el peso de un material, se puede hacer desde la configuración microscópica o macroscópica. Desde la configuración microscópica se debe calcular la composición en masa del compuesto y desde la configuración macroscópica se puede hacer una reducción de dimensiones (Ver figura 29), generar pliegues (Ver figura 30) o perforaciones en el material (Ver figura 31).

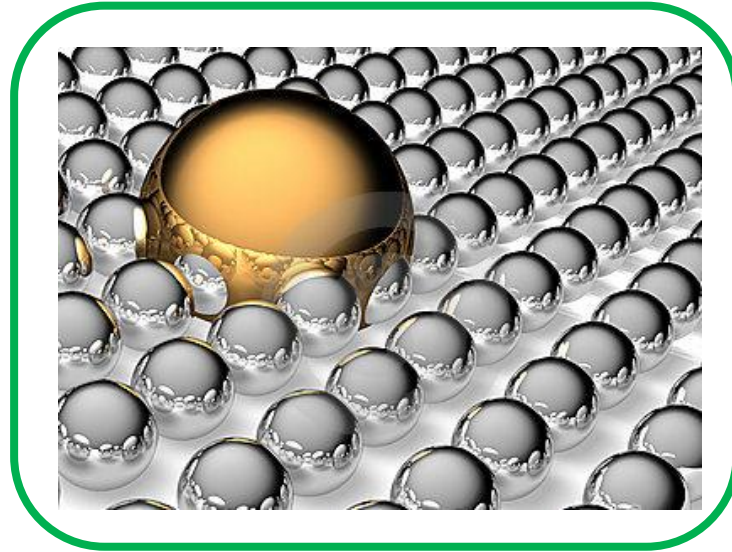


Figura 29: Reducción de dimensiones de un material sin alterar la forma (Dreamstime, 2011)



Figura 30: Generación de pliegues en un material (Acero González, 2010)

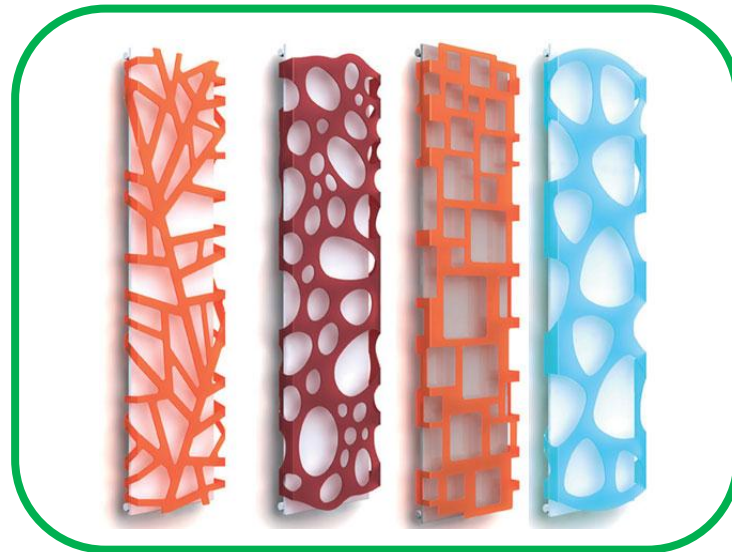


Figura 31: Generación de perforaciones en un material (W, 2008)

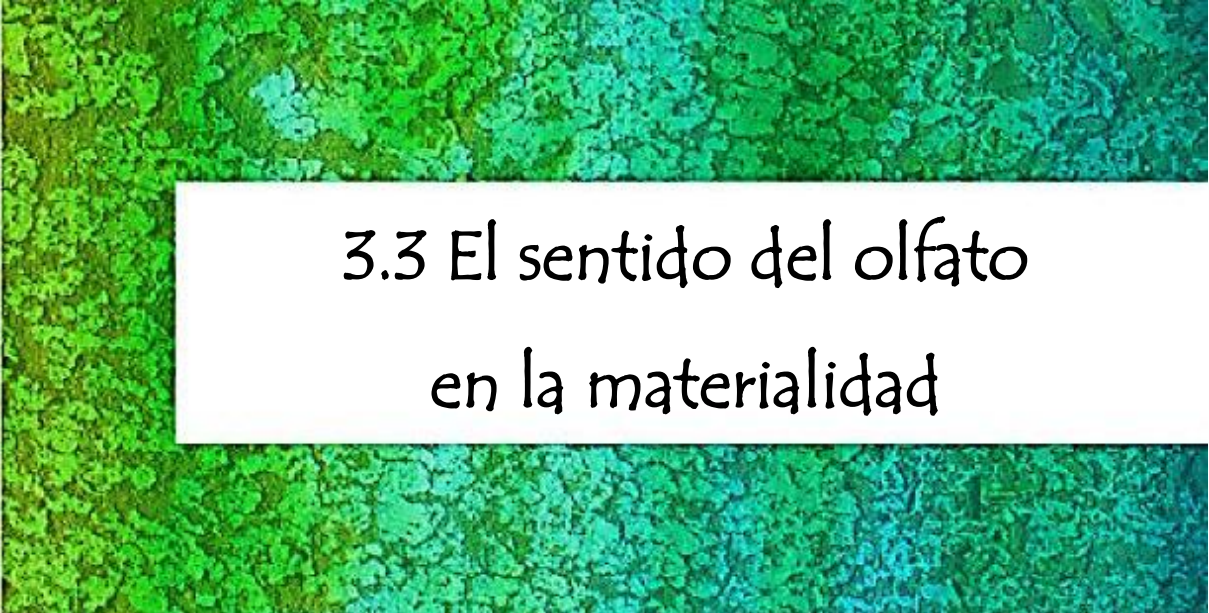
Deyanira Bedolla (Bedolla Pereda, 2002) subraya en un apartado de su trabajo que el peso ha sido un tema importante dentro del estudio de materiales, pero este estudio ha sido enfocado más desde la funcionalidad que desde la percepción emocional. Otro aspecto que no es sensorial, pero que parte desde la interacción con el usuario, es la comunicación que se deriva desde el material y para eso se plantea el siguiente ejemplo. “En la cultura occidental el valor del peso siempre ha sido un elemento valorado y que por lo tanto se han derivado y se derivan de él conceptos como peso = calidad, duración, solidez, seguridad; que dejan una señal profunda sobre la calidad del elemento material. Por otro lado, en las culturas orientales como en la japonesa, la ligereza de peso es una cualidad muy valorada en los productos cotidianos y/o que integran el ambiente doméstico.”

### 3.2.3.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde el peso:

A través de cada uno de los sentidos se identifican categorías que se definen como la percepción recibida a través de la experiencia con el material. Cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos que permiten evaluar las percepciones que se obtienen de cada uno de los mecanismos sensoriales (Ver tabla 14).

Tabla 14: Los valores que permiten evaluar las percepciones del peso desde el mismo peso

		NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
<b>TIPO 1: PESO</b>	<b>LIGERO</b>		Descripción de los materiales que se caracterizan por tener baja densidad.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b></p> <p><b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b></p> <p><b>TIPO:</b> Cualitativa</p> <p><b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>COMPARACIÓN</b></p> <p>El valor se determina a nivel comparativo con otros materiales.</p>
	<b>DENSO</b>		Descripción de los materiales que se caracterizan por tener alta densidad.	

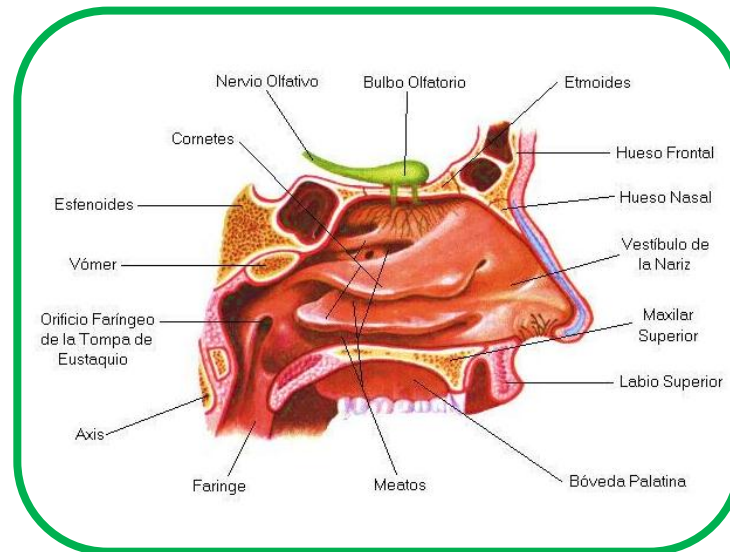


### 3.3 El sentido del olfato en la materialidad

El sentido del olfato permite oler. Este fenómeno ocurre cuando ciertas moléculas olorosas se desprenden de la sustancia en que se encuentran y se introducen en la nariz, y es ahí cuando se produce la sensación de oler. (Braun, 1997).

**Tipo de estimulación del olfato:** Estimulación química.

**Constitución anatómica del olfato:** En la siguiente figura (Ver figura 32) se muestra la anatomía de la nariz.



**Figura 32: Anatomía de la nariz (Escuela de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2010)**

**Fisiología de la nariz:** El armazón óseo de la nariz está constituido por huesos, cartílagos duros y cartílagos blandos. Los huesos duros forman la parte superior y los laterales del puente, los cartílagos forman los laterales de las fosas nasales y el propio tabique nasal. Cada fosa nasal se comunica por una abertura con el exterior. A la entrada de ellas se encuentran pelos gruesos y cortos. Las paredes nasales están revestidas por mucosas, segregadas por la membrana pituitaria, que tienen como función esencial el acondicionamiento del aire inhalado. Además, la mucosa atrapa y quita el polvo y los gérmenes del aire cuando se introducen en la nariz. Para que un cuerpo posea olor es necesario que emita partículas muy pequeñas y volátiles que se mezclen con el aire.

Los vapores emitidos por las sustancias olorosas penetran por la parte superior de las cavidades o fosas nasales y, después de disolverse en la humedad de la pituitaria amarilla, actúan químicamente sobre los receptores olfativos. Hay unos veinte tipos distintos de receptores, cada uno de los cuales se encarga de una clase determinada de moléculas de olor. Los impulsos nerviosos que resultan de la activación de los receptores son transmitidos al bulbo olfatorio y de ahí a la corteza cerebral para la formación de la sensación. Las sensaciones olfatorias suelen confundirse con las del gusto, ya que ambas son producidas por el mismo estímulo químico. Sin embargo el olfato presenta más sensibilidad y posee mayor poder de discriminación que el sentido del gusto.

**Categorías y niveles de percepción:** A través del sentido de la vista se pueden identificar unas categorías que se definen como las percepciones recibidas a través de la experiencia con el material y los niveles que son los valores o grados que permiten evaluar las percepciones. Las categorías para el sentido del olfato son:

**3.3.1 Olor:** Los aromas son las diferentes fragancias u olores que presenta un material y permite estimular el sentido del olfato. Los olores pueden hacer recordar imágenes o sonidos. Esto se debe a que el órgano nasal está en contacto directo con la memoria y las emociones. Es por eso que los olores están a menudo relacionados con los estados de ánimo. Por ejemplo, oler sustancias fétidas durante un día generará mal humor, pero si contrario a esto el olor proviene de un bosque, el sentimiento que se va a generar es de tranquilidad y armonía (Lenntech, 2011).

Se han realizado diferentes intentos de agrupar las numerosas sensaciones olfatorias en algunas fundamentales, con resultados menos exitosos que en el sentido del gusto. En 1752 Linneo estableció 7 tipos de olores: fragante, aromático, ambrosiaco, aliáceo, caprílico, fétido y nauseabundo. Más tarde, Zwaardemaker en 1895 agregó a esta clasificación dos olores más: etéreo y quemado. Posteriormente, en 1916 Henning propuso un diagrama espacial en forma de prisma, ubicándose los 6 olores considerados básicos en los vértices, y los olores intermedios ubicados en las aristas y caras del prisma (Ver figura 33)

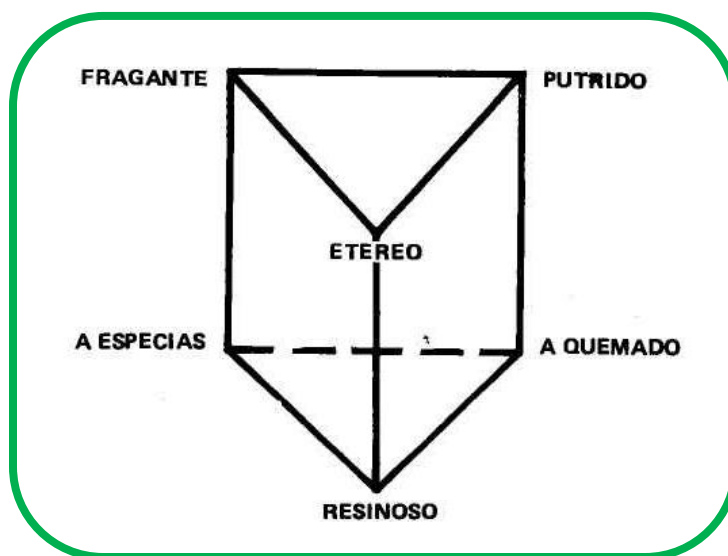


Figura 33: Prisma de olores propuesto por Henning en 1916 (Aroma y olor, 2010)

En 1964, Schutz intentó otra clasificación que diferencia 9 factores odoríferos y señala el patrón de cada uno de ellos: fragante (metilsalicilato), quemante (guayacol), sulfuroso (etildisulfuro), etéreo (1 propanol), dulce (vainillina), rancio (ácido butírico), aceitoso (heptanol), metálico (hexanol) y a condimentos (benzaldehído). Los patrones se usan concentrados, a excepción del ácido butírico al 3,8% y el disulfuro de etilo al 0,03%. Posteriormente se han publicado otros intentos de clasificaciones (Wenger, Woskow, Wright, etc.), pero hasta ahora no han sido mayoritariamente aceptados.

Existen unos 50.000 olores diferentes, de los cuales el ser humano detecta aproximadamente 2.000 - 4.000. Esto comprueba la alta sensibilidad del sentido del olfato y su gran capacidad de discriminación. Y por esta misma razón es difícil hacer una clasificación estándar frente al sentido del olfato, por lo que las percepciones frente a cada olor son tan subjetivas como innumerables. (Wittig de Penna, 2001). Algunos investigadores que se han dedicado a investigar los olores de los diferentes materiales y han encontrado otro tipo de clasificación que se denomina olor “metálico”. El olor metálico proviene de los materiales metálicos y no porque ellos tengan un olor específico, sino que al entrar en contacto con los vapores emitidos por la piel de las personas, los metales adquieren un olor específico, pero este olor no tiene ningún átomo de algún elemento metálico (El portal de la ciencia y la tecnología, 2010).

El olor de los materiales poliméricos se analiza a partir de la combustión. Para los polímeros comienzan también a realizarse ciertas clasificaciones de olor. Algunos de los aromas identificados en el humo de estos materiales son olor a parafina, dulce, formaldehído, caucho quemado, frutas y flores (Tecnología de polímeros, 2010). La intensidad es la magnitud o fuerza con la que una persona percibe un olor. La intensidad del olor aumenta de acuerdo a su concentración. Sin embargo, cada olor posee intensidades específicas y puede ocurrir que dos olores de la misma concentración se perciban con intensidad diferente. Por ejemplo, si una localidad sufre de contaminación odorífera, puede ocurrir que los equipos de tratamiento de olores deban reducir en un 90% la concentración de las sustancias para provocar una disminución a la mitad de la intensidad con la que la comunidad lo percibe. (Xarxa ambiental, 2009).

### **3.3.1.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde el olor:**

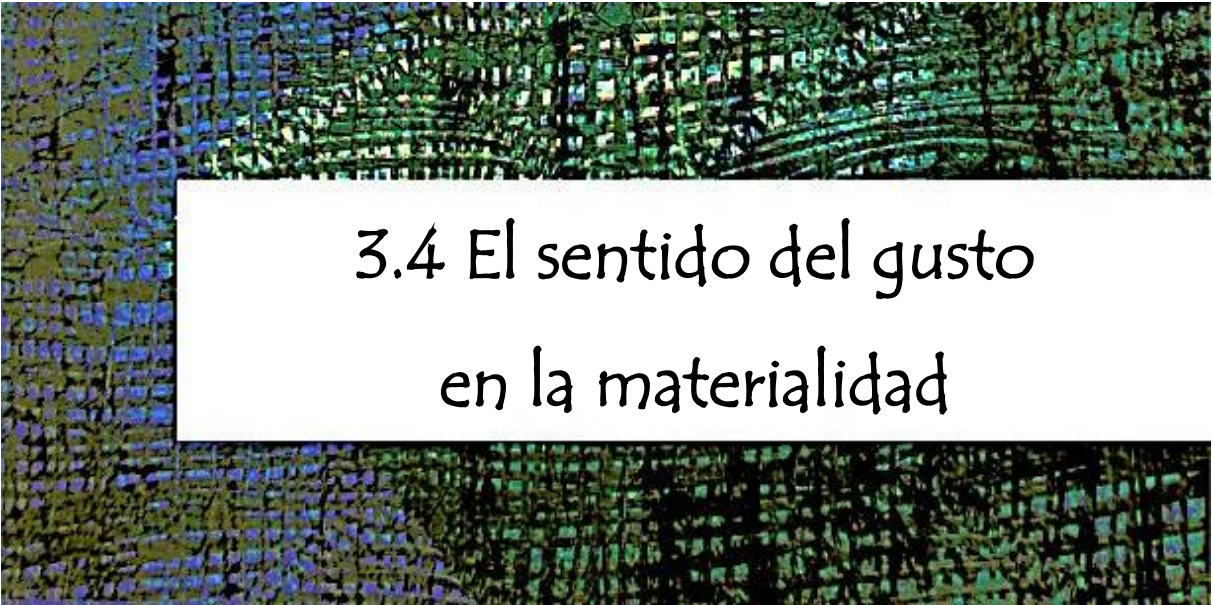
A través de cada uno de los sentidos se identifican categorías que se definen como la percepción recibida a través de la experiencia con el material. Cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos que permiten evaluar las percepciones que se obtienen de cada uno de los mecanismos sensoriales (Ver tabla 15,16).

Tabla 15: Los valores que permiten evaluar las percepciones del olor desde el aroma

	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
<b>TIPO 1: AROMA</b>	<b>AROMAS PRIMARIOS</b>	Son aromas campestres. Los aromas primarios son: Floral, frutal, especias, vegetales.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p> <p><b>COMPARACIÓN</b>                      El aroma se determina a nivel comparativo con diferentes materiales.</p>
	<b>AROMAS SECUNDARIOS</b>	Son aromas de fermentación alcohólica. Los aromas secundarios son: Ácidos grasos, aldehídico, resinoso, etérico y pútrido.	
	<b>AROMAS TERCARIOS</b>	Son aromas adquiridos a través del tiempo. Los aromas terciarios son: Humo, madera, animal, frutos secos, vegetales secos, metal.	
	<b>INOLORO</b>	No hay un aroma específico. Sin olor.	

Tabla 16: Los valores que permiten evaluar las percepciones del olor desde la intensidad

	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
<b>TIPO 2: INTENSIDAD</b>	<b>ALTO</b>	Valor superior. El olor de un material se puede sentir con mayor intensidad.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Alto – Medio - Bajo</p> <p><b>COMPARACIÓN</b>                      La intensidad del aroma se determina a nivel comparativo con diferentes materiales.</p>
	<b>MEDIO</b>	Valor intermedio. El olor de un material se puede sentir con mediana intensidad.	
	<b>BAJO</b>	Valor inferior. El olor de un material se puede sentir con poca intensidad.	

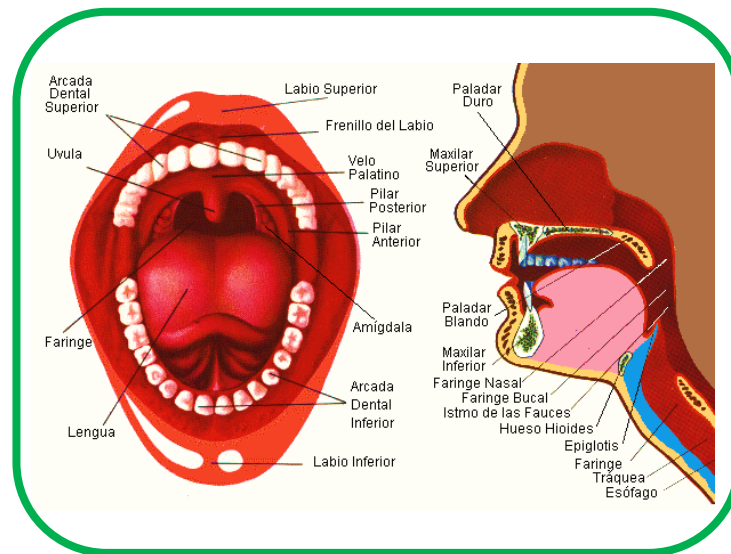


## 3.4 El sentido del gusto en la materialidad

El sentido del gusto permite la identificación de diferentes sabores. En la lengua se ubican unos receptores llamados papilas gustativas y a través de estas papilas se pueden detectar cinco gustos básicos: salado, dulce, amargo, agrio, umami o sabor metálico (Lindemann, 2000). El resto de las sensaciones gustativas proviene de las mezclas entre estos sabores en diferentes proporciones (Wittig de Penna, 2001).

**Tipo de estimulación del gusto:** Estimulación química.

**Constitución anatómica del gusto:** En la siguiente figura (Ver figura 34) se muestra la anatomía de la boca.



**Figura 34: Anatomía de la boca (El cuerpo humano, 2011)**

**Fisiología de la boca:** La boca permite el ingreso de diferentes sustancias al organismo, esta compuesta principalmente por la lengua, la úvula, las amígdalas y el paladar, pero es en la lengua principalmente donde se encuentran los receptores de los sabores (Ver figura 35). La lengua tiene unos botones gustativos o receptores nerviosos. Estos en su interior tienen células que ayudan a percibir el sentido del gusto. Cada célula presenta una serie de microcilios que son sensibles a las sustancias que ingresan a la lengua y a la zona de la nasofaringe. Los botones gustativos se encargan de transformar el gusto en un impulso eléctrico llamado potencial de acción. Este impulso se transmite a través de las neuronas y lo llevan hasta el cerebro donde se interpreta y se hace consciente la información.

El sentido del gusto está ligado al sentido del olfato que es el encargado de completar su función en el momento de identificar los sabores. La lengua puede identificar la temperatura de la superficie del material con la que entre en contacto (caliente o frío), la textura (dura o suave) y los sabores. Estas señales son enviadas al cerebro para poder disfrutar de los diferentes sabores o para avisar el estado en el que se encuentra la materia que será llevada a la boca. (Zamora, 2009)

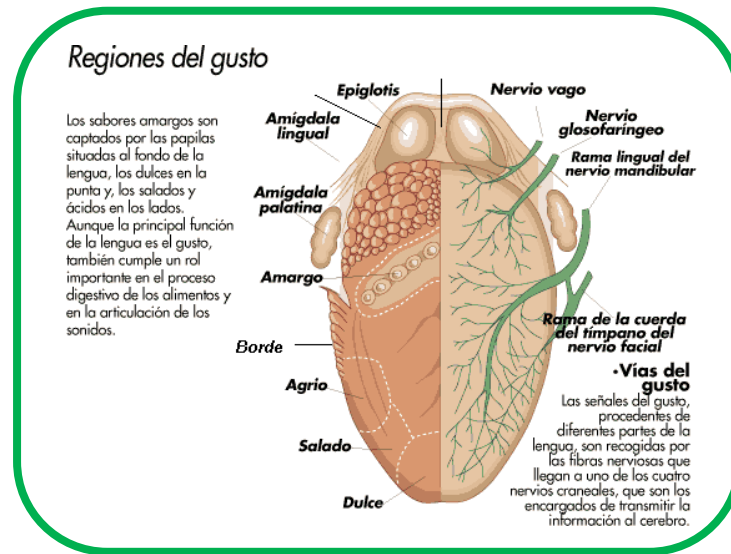


Figura 35: Regiones del gusto ubicadas en la lengua (El cuerpo humano, 2011)

**Categorías y niveles de percepción:** A través del sentido del gusto se pueden identificar unas categorías que se definen como las percepciones recibidas a través de la experiencia con el material y los niveles que son los valores que permiten evaluar las percepciones. Las categorías para el sentido del gusto son:

**3.4.1 Sabor:** El sabor y el gusto son dos términos que se usan indistintamente, pero ambos tienen un significado diferente. El sabor es la información sensitiva que recibe la boca, por ejemplo la temperatura, la textura. El gusto es la identidad del sabor y genera agrado o desagrado. Estas sensaciones de agrado y desagrado están relacionadas con la concentración de los elementos del material. En 1928, Engell describió que al incrementar la concentración de glucosa aumenta la sensación de agrado, pero esto es válido dentro de un rango, ya que a concentraciones mayores la sensación se torna desagradable (Wittig de Penna, 2001).

Es difícil dar una regla fija que permita predecir el gusto de los diferentes compuestos químicos conociendo la estructura. En general se puede establecer que el gusto salado proviene la mayoría de las veces de sales y parece ser que el agente excitante es el anión de la sal disociada. El gusto ácido depende de la concentración de iones hidrógeno con carga positiva, influyendo además la naturaleza del ácido, sea mineral u orgánico y la dilución que presente. El amargo es característico de muchos alcaloides y sustancias como el ion de magnesio, los glucósidos, el ácido pícrico, etc. El gusto dulce lo provocan los azúcares y derivados, es en general característico de los compuestos hidroxilados, en particular alcoholes, glicoles; también algunos alfa-aminoácidos poseen gusto dulce, como así también las sales de plomo y berilio (Wittig de Penna, 2001). El sabor metálico o umami se encuentra en proteínas como el L- glutamato (Lindemann, 2000).

El sentido del gusto en los materiales no ha sido estudiado a profundidad. Los materiales son usados generalmente desde sus características estéticas para potenciar las propiedades sensoriales como las táctiles y las visuales. Cuando se habla de las propiedades gustativas en un material es porque el material es transformado en un producto que tiene relación directa con este sentido. Por ejemplo los productos para almacenar alimentos, productos que aumenten el deseo por consumir algún

alimento o un producto que permita darle una buena presentación a los alimentos. (Bedolla Pereda, 2002).

La intensidad es la magnitud o fuerza con la que una persona percibe un sabor. Para identificar un sabor, la sustancia debe estar en solución acuosa. La intensidad del gusto crece con la concentración de los líquidos en que se hallan disueltas las sustancias saborizadas. La intensidad es mayor para las sustancias que son degustadas inmediatamente después de otras, cuyo sabor es opuesto. La intensidad disminuye cuando el sabor de un material esta por un tiempo prolongado en la boca (Cazabonne, 2009).

### 3.4.1.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde el gusto:

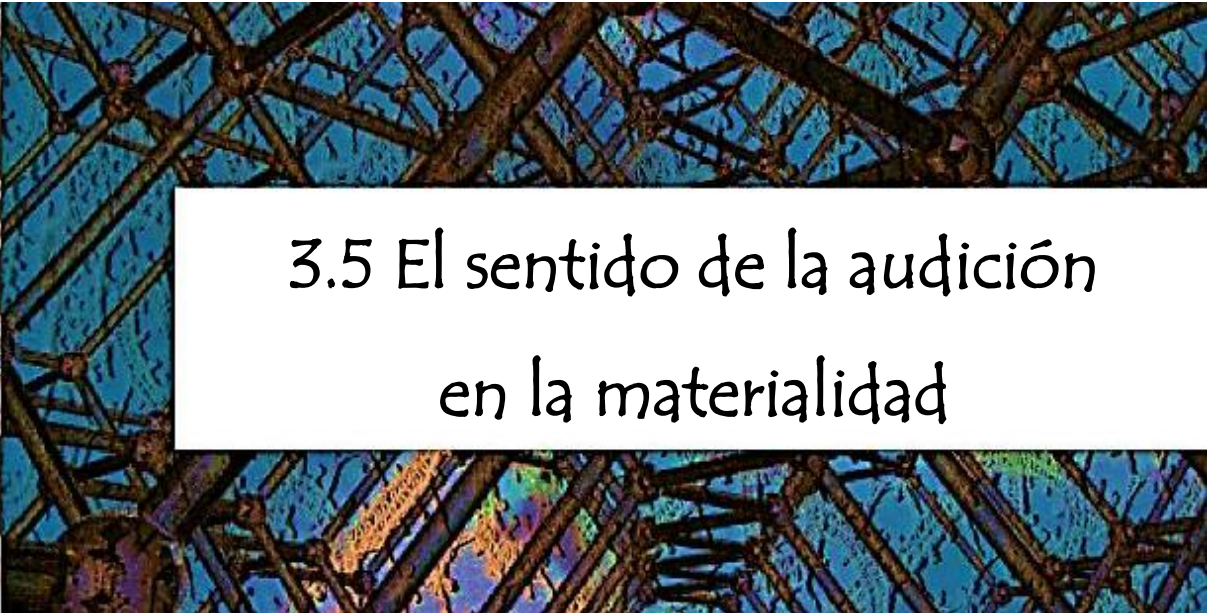
A través de cada uno de los sentidos se identifican categorías que se definen como la percepción recibida a través de la experiencia con el material. Cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos que permiten evaluar las percepciones que se obtienen de cada uno de los mecanismos sensoriales (Ver tabla 17,18).

Tabla 17: Los valores que permiten evaluar las percepciones del sabor desde el mismo sabor

	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
<b>TIPO 1: SABOR</b>	<b>SALADO</b>	Los sabores dependen de las sustancias con las que esté fabricado un material y de la percepción de cada persona, ya que los sensores gustativos reaccionan diferente frente a cada sabor.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b></p> <p><b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b></p> <p><b>TIPO:</b> Cualitativa</p> <p><b>UNIDAD:</b> Alto – Medio - Bajo</p> <p><b>COMPARACIÓN</b></p> <p>El sabor se determina a nivel comparativo con diferentes materiales.</p>
	<b>DULCE</b>		
	<b>ACIDO (AGRIO)</b>		
	<b>AMARGO</b>		
	<b>PICANTE</b>		
	<b>INSABORO</b>		
	<b>METÁLICO</b>		

Tabla 18: Los valores que permiten evaluar las percepciones del sabor desde la intensidad

TIPO 2: INTENSIDAD	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
	ALTO	Valor superior. El sabor de un material se puede sentir con mayor intensidad.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b>  <b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p>
	MEDIO	Valor intermedio. El sabor de un material se puede sentir con mediana intensidad.	<p><b>MEDICIÓN</b>  <b>TIPO:</b> Cualitativa  <b>UNIDAD:</b> Absoluta</p>
	BAJO	Valor inferior. El sabor de un material se puede sentir con poca intensidad.	<p><b>COMPARACIÓN</b>                      La intensidad del sabor se determina a nivel comparativo con diferentes materiales.</p>



## 3.5 El sentido de la audición en la materialidad

El sentido de la audición se da a través del oído. El oído tiene la capacidad de captar directamente las ondas sonoras del ambiente, incluso las ondas que tropiezan con obstáculos y se reproducen como eco (Ondas sonoras).

**Tipo de estimulación del gusto:** Estimulación física.

**Constitución anatómica de la audición:** En la siguiente figura (Ver figura 36) se muestra la anatomía del oído.

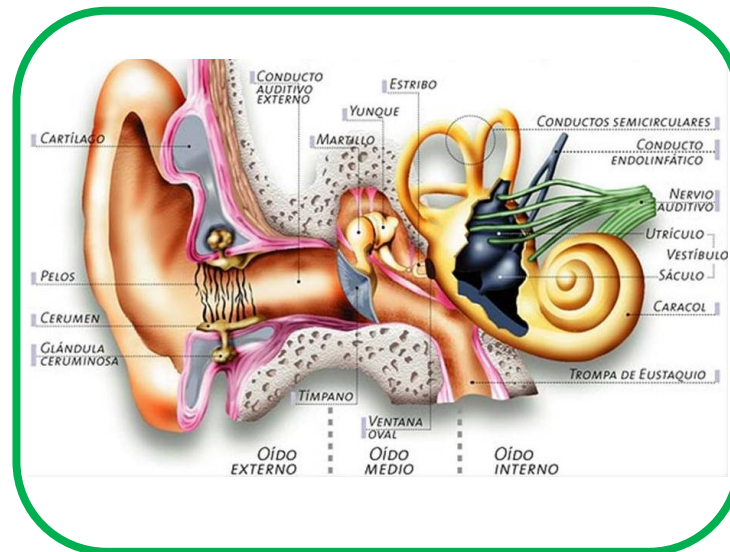


Figura 36: Anatomía del oído (Anta Keme, 2011)

**Fisiología del oído:** Para que el oído pueda convertir las ondas sonoras en vibraciones que estimulen las células nerviosas, se requiere hacer una distinción del oído en tres partes. El oído externo, el oído medio y el oído interno. El oído externo se encarga básicamente de la protección del tímpano. El oído medio actúa como un multiplicador de la función sonora, ya que existe una interfase aire-líquido entre oído medio e interno que provoca una reflexión del 99,9% de la energía sonora. En el oído interno se ubica el tímpano, el cual es un mecanismo de tres huesecillos (martillo, yunque y estribo) que permiten la amplificación del sonido.

Cuando el sonido que penetra al oído es muy intenso, se activa un mecanismo de freno que está determinado por los músculos del estribo y el martillo, que aumentan la resistencia a la vibración de los huesecillos, protegiendo así, las células ciliadas del oído interno. En el órgano de Corti se encuentran las células ciliadas, las cuales tienen la función de transformar señales acústicas físicas a señales acústicas mecánicas y de señales acústicas mecánicas a señales electroquímicas; las cuales están dirigidas a la corteza cerebral donde está el área receptora auditiva. Cuando las frecuencias de los sonidos son agudas, estimulan la membrana basal que sostiene el órgano de Corti. Cuando las frecuencias de los sonidos son graves estimulan el caracol o zona cóclea del oído interno (Iñiguez Sasso).

En la figura 37 se observa una onda con cada una de sus partes y en la figura 38 se muestra cómo es el estímulo sonoro y cuál es la respuesta de la onda frente al estímulo.

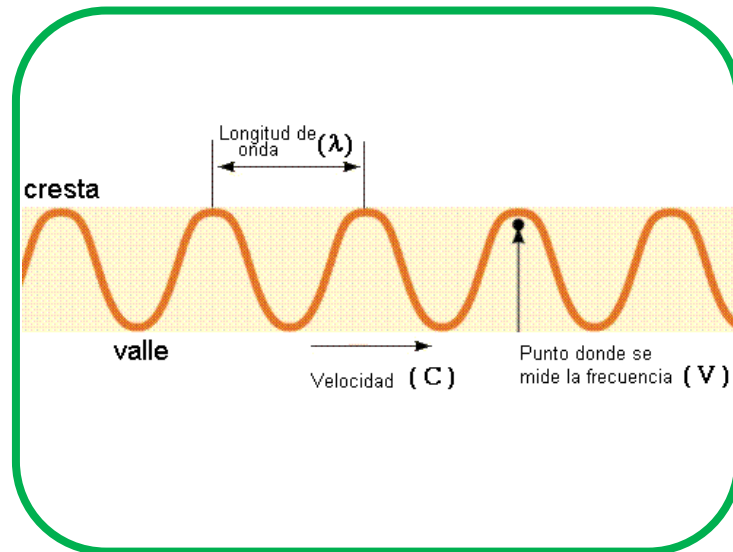


Figura 37: Cada una de las partes que conforman una onda (Serway & Beichner, 2002)

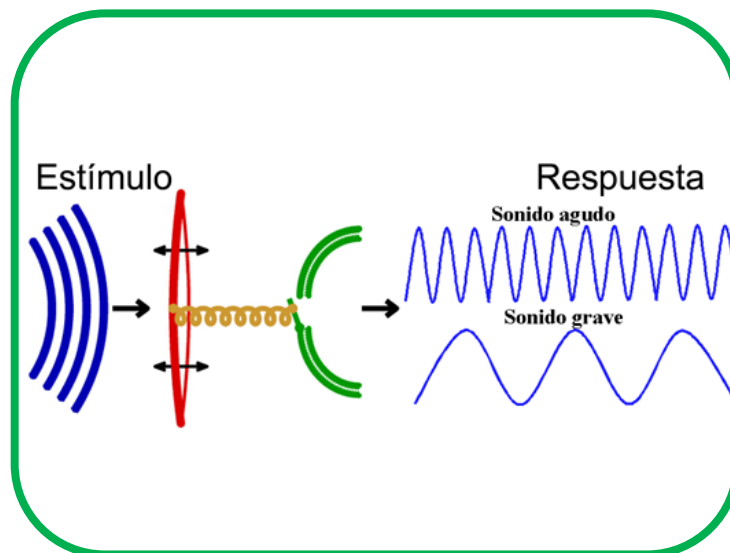


Figura 38: Respuesta de una onda sonora dependiendo del medio de propagación (The daly graphic, 2010)

**Categorías y niveles de percepción:** A través del sentido del gusto se pueden identificar unas categorías que se definen como las percepciones recibidas a través de la experiencia con el material y los niveles que son los valores que permiten evaluar las percepciones. Las categorías para el sentido de la audición son:

**3.5.1 Sonido:** Desde el punto de vista de la percepción humana el sonido se puede clasificar por la intensidad o el volumen, permitiendo clasificar los sonidos en fuertes o débiles y esto está directamente relacionado con la intensidad de la onda. La intensidad de la onda se define como cantidad de energía que transporta la onda por unidad de superficie y unidad de tiempo.

También se puede clasificar por el tono. El cual determina si un sonido es agudo o grave. Esto está relacionado con la magnitud física que es la frecuencia. Los sonidos graves son los de baja frecuencia y los sonidos altos son de alta frecuencia. Y finalmente el timbre, el cual permite distinguir dos sonidos diferentes, pero que tengan la misma intensidad y la misma frecuencia. Por ejemplo, se puede distinguir el sonido de un violín o de una trompeta aunque tengan la misma nota musical y la misma intensidad. El timbre esta relacionado con la forma de la onda. (Ondas sonoras).

Los materiales pueden absorber o reflejar una gran parte de las ondas sonoras que chocan con ellos. Cuando la superficie del material es compacta, impermeable y rígida evita que las ondas sonoras se propaguen en su interior permitiendo que la onda sonora incidente sea reflejada en un área determinada. Para estos fines los materiales metálicos y cerámicos tienen buenas características de ser acondicionadores acústicos (Ver figura 39). Cuando la superficie del material es permeable, porosa y flexible, permite que las ondas sonoras se propaguen en su interior transformando parcialmente la energía de las ondas sonoras en energía calorífica de fricción (Absorción acústica, 2009). Cuando una onda sonora choca contra una de estas superficies, parte de la energía es absorbida, otra parte es reflejada y otra parte es transmitida. Para estos fines, los materiales espumados tienen buenas características de absorción acústica (Ver figura 40) (NDT Resource center, 2011).

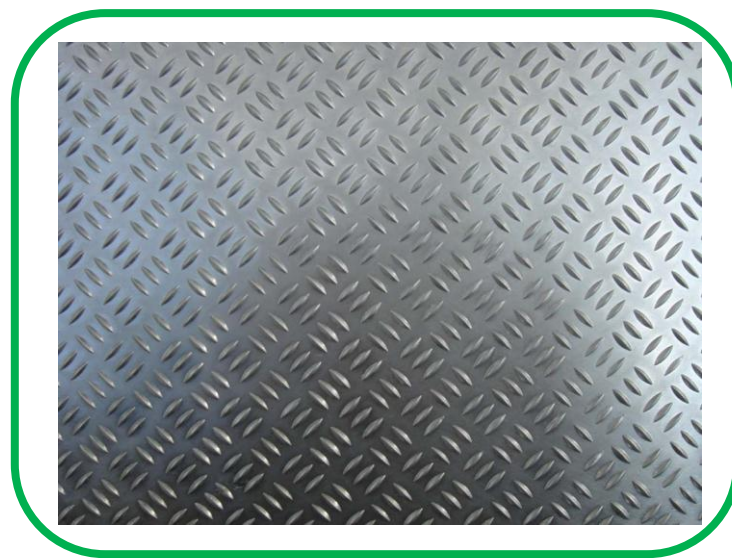


Figura 39: Lámina metálica con buenas características de acondicionamiento acústico (Racks & Cases, 2011)



Figura 40: Lámina espumada con buenas características de absorción acústica (AV Center, 2010)

#### **3.5.1.1 Los valores que permiten evaluar las percepciones desde el sonido:**

A través de cada uno de los sentidos se identifican categorías que se definen como la percepción recibida a través de la experiencia con el material. Cada categoría tiene diferentes niveles, los cuales a través de la comprobación pueden generar valores cualitativos que permiten evaluar las percepciones que se obtienen de cada uno de los mecanismos sensoriales (Ver tabla 19, 20).

Tabla 19: Los valores que permiten evaluar las percepciones del sonido desde el tono

TIPO 1: TONO	NIVELES	DESCIPCIÓN	COMPROBACIÓN
	ALTO	Los sonidos generados por una mayor frecuencia de ondas por segundo.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b></p> <p><b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b></p> <p><b>TIPO:</b> Cualitativa</p> <p><b>UNIDAD:</b> Alto-Medio-Bajo</p> <p><b>COMPARACIÓN</b></p> <p>Para evaluar cada nivel se utilizan el sonido de materiales frente a un impacto.</p> <p>ALTO: Impacto de un tubo de aluminio.</p> <p>GRAVE: Impacto de una lámina de madera tipo balso.</p>
	GRAVE	Los sonidos generados por una menor frecuencia de ondas por segundo.	

Tabla 20: Los valores que permiten evaluar las percepciones del sonido desde la duración

TIPO 2: DURACIÓN	NIVELES	DESCRIPCIÓN	COMPROBACIÓN
	LARGO	La duración prolongada de un sonido se debe a que se genera una mayor propagación de onda, independientemente si es de alta o de baja frecuencia.	<p><b>PATRÓN DE MEDICIÓN</b></p> <p><b>FISIOLÓGICO:</b> Mecanismos sensoriales.</p> <p><b>MEDICIÓN</b></p> <p><b>TIPO:</b> Cualitativa</p> <p><b>UNIDAD:</b> Alto-Medio-Bajo</p> <p><b>COMPARACIÓN</b></p> <p>Para evaluar cada nivel se utilizan el sonido de materiales frente a un impacto.</p> <p>LARGO: Impacto de un tubo de aluminio.</p> <p>CORTO: Impacto de una lámina de madera tipo balso.</p>
	CORTO	La duración breve de un sonido se debe a que se genera una menor propagación de onda, independientemente si es de alta o de baja frecuencia.	



ETAPAS METODOLÓGICAS PARA  
EL DISEÑO DE MATERIALES CON  
PROPIEDADES SENSORIALES

## INTRODUCCIÓN

Actualmente las disciplinas creativas y artísticas, y como caso específico el Diseño Industrial, tiene como objetivo crear o rediseñar productos con características estéticas y funcionales que brindan satisfacción y facilitan la vida de los usuarios. Pero en medio de ese proceso de diseño de productos y la selección de materiales para materializar los proyectos, también existe una preocupación constante por el diseño de materiales que logren dar las prestaciones funcionales y estéticas que se requieren para el proyecto. El diseño de materiales se ha visto limitado en la medida que los referentes teóricos y metodológicos existentes están dirigidos a profesionales de las ciencias exactas y la ingeniería, demarcando el acceso a ese conocimiento para las disciplinas creativas y artísticas tanto por el lenguaje como por la tecnología que se sugiere para sintetizar nuevos materiales.

Con base en lo anterior, se propone una metodología de diseño de materiales, tanto para disciplinas creativas como para ingenierías que les permita seleccionar el material o materiales que se van a utilizar, para predecir el comportamiento físico y mecánico con base en los conocimientos teóricos y prácticos. El método para caracterizar materiales con este tipo de propiedades se denominará caracterización absoluta, la cual utiliza procedimientos e instrumentos especializados sugeridos por la normatividad.

También se puede predecir el comportamiento metafísico de los materiales utilizando patrones de comparación a partir de los materiales existentes, que permitan utilizar los mecanismos sensoriales como método de caracterización. El método para caracterizar materiales con este tipo de propiedades se denominará caracterización relativa, la cual hace uso de los elementos fisiológicos en el proceso de caracterización de materiales. Todo lo anterior permitirá dar forma final a un diseño de material.

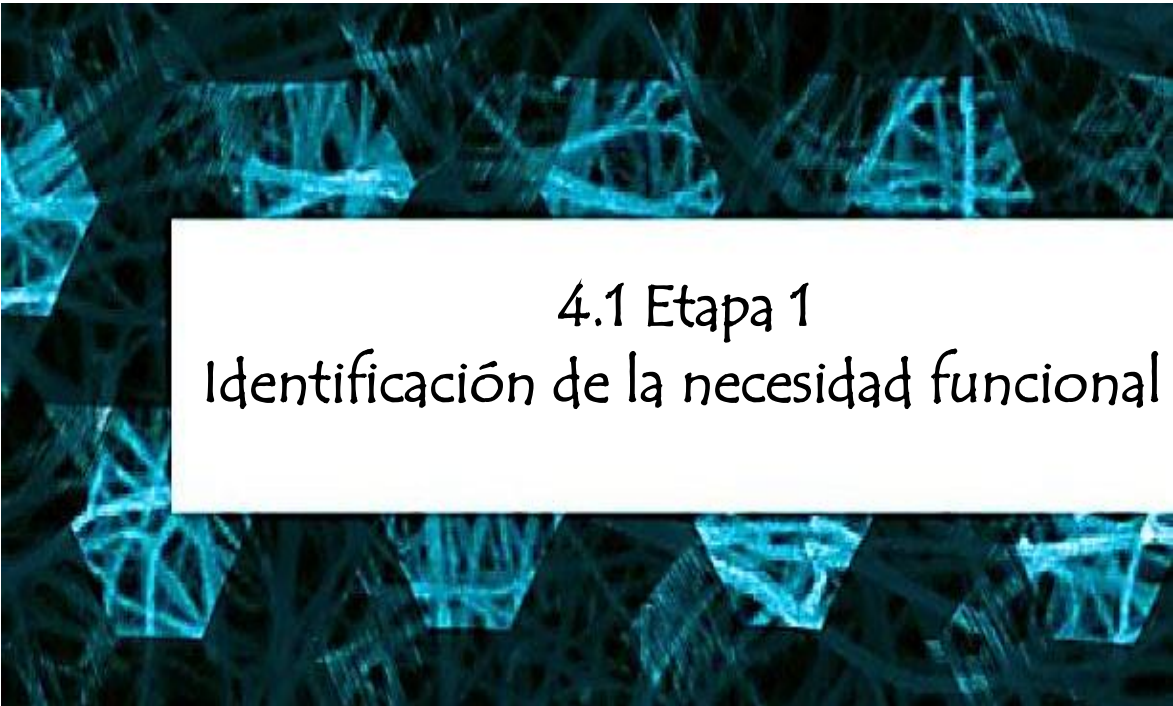
La propuesta metodológica se divide en un planteamiento desde lo conceptual, que parte de las posibles variables que se presentan en el proceso de diseño de materiales. Y en un planteamiento desde lo práctico, donde se describe una propuesta didáctica que genera alternativas de solución a la propuesta metodológica planteada desde lo conceptual (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2011). Esta metodología debe ser utilizada siempre y cuando se garantice que comercialmente existe una falencia, ausencia o carencia de los materiales que cumplan con las prestaciones requeridas. Adicionalmente es importante saber que al utilizar la metodología se llegará a la síntesis del material, etapa donde se podrá determinar cuál o cuáles de las fases de la metodología tendrán que ser reforzadas u obviadas en el proceso.

### **Metodología planteada desde la conceptualización**

Para la metodología de diseño de materiales se han identificado cinco etapas: Identificación de la necesidad funcional, selección de materiales, predicción del comportamiento de los materiales, proceso de materialización y caracterización del material. Cada una de ellas se subdivide en diferentes fases que permitirán identificar las posibles variables que se presentan en el proceso de diseño de materiales con propiedades metafísicas.

### **Metodología planteada desde lo práctico**

La metodología planteada desde lo práctico retoma las etapas y fases definidas en el planteamiento conceptual, para dar unas posibles soluciones didácticas que permitan retomar todas las variables identificadas en esa primera instancia y de esta forma agruparlas, filtrarlas y organizarlas, de forma que el diseño del material se pueda realizar efectivamente.



4.1 Etapa 1  
Identificación de la necesidad funcional

Para la detección e interpretación de atributos del material como producto final en el proceso de diseño conceptual, es necesario tener en cuenta las siguientes fases:

**4.1.1 Fase 1: Identificar las categorías de propiedades que sean relevantes funcionalmente para el material a diseñar.**

**Concepto**

Identificar los tipos y las categorías existentes de las propiedades sensoriales y las propiedades técnicas que se quieran obtener en el material a diseñar.

**Práctica**

**PASO 1:** Realizar una revisión bibliográfica de libros de ciencia e ingeniería de materiales.

**4.1.2 Fase 2: Seleccionar para cada categoría de propiedades el nivel deseado que se espera obtener en el material a diseñar.**

**Concepto**

Una vez identificadas las categorías de las propiedades sensoriales y las propiedades técnicas, se procede a la selección del nivel que se desea obtener en el material a diseñar.

**Práctica**

**PASO 1:** Generar una matriz donde las propiedades técnicas y las propiedades sensoriales estén categorizadas. (Ver tabla 1 y 2)

**PASO 2:** Seleccionar por cada categoría de propiedades el nivel que se desea obtener en el material a diseñar. Se debe tener en cuenta que por cada categoría de propiedades debe seleccionarse un solo nivel y que el material a diseñar no siempre tiene todas las categorías de propiedades propuestas en la tabla. En el capítulo 3 de esta investigación, “Los sentidos en la materialidad” se encuentra información de las propiedades sensoriales, la cual será de utilidad antes de seleccionar el nivel en el que se desea obtener cada propiedad.

**PASO 3:** Evaluar las propiedades sensoriales a partir de rangos de valor relativos, A=alto, M=medio y B=bajo y marcar con la letra X en la casilla correspondiente al valor que se desee seleccionar. Algunas propiedades sensoriales son evaluadas con valores absolutos y para hacer la selección de estas propiedades se debe llenar la casilla en blanco con la letra X. Las propiedades técnicas serán evaluadas de acuerdo a la normatividad que requiera la propiedad seleccionada.

Tabla 1: Funcionalidades técnicas deseadas en el material a diseñar

PROPIEDADES TÉCNICAS					
PROPIEDADES FÍSICAS					
CATEGORÍA	NIVEL	SELECCIONAR EL NIVEL QUE SE DESEA OBTENER EN EL MATERIAL	SÍMBOLO Y UNIDAD DE MEDIDA		OBSERVACIONES
CONCENTRACIÓN	Soluble		%masa [=](%) %P/V [=](%)		
DENSIDAD	Denso		$\rho$ [=](kg/m <sup>3</sup> ) $\rho$ [=](Mg/m <sup>3</sup> )		
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO	Fricción		$\mu$ [=]Adimensional		
PROPIEDADES QUÍMICAS					
TOXICIDAD	Tóxico		T[=] %		
REACTIVIDAD	Reactivo		[=] Adimensional		
INFLAMABILIDAD	Combustible		Q <sub>c</sub> [=]( cal / g) Q <sub>c</sub> [=]( J / kgm) Q <sub>c</sub> [=]( erg / kgm)		
	Ignífugo				
	Autoextinguible				
CATEGORÍA	NIVEL	SELECCIONAR EL NIVEL QUE SE DESEA OBTENER EN EL MATERIAL	SÍMBOLO Y UNIDAD DE MEDIDA		OBSERVACIONES
ACIDEZ	Ácido		pH ACIDO	0-6	
			pH NEUTRO	7	
			pH BÁSICO	8-14	
RESISTENCIA A LA INTERPERIE	Oxidación		O	Alta	
			O	Media	
			O	Baja	
	Corrosión		C	Alta	
			C	Media	
			C	Baja	

CATEGORÍA	NIVEL	SELECCIONAR EL NIVEL QUE SE DESEA OBTENER EN EL MATERIAL	SÍMBOLO Y UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIONES
<b>PORPIEDADES MECÁNICAS</b>				
<b>RESISTENCIA</b>	Compresión		$\sigma_c$ [=](MPa)	
	Tracción		$\sigma_t$ [=](MPa)	
	Cortante		$\tau$ [=](MPa)	
	Cedencia en tracción		$\sigma_y$ [=](MPa)	
	Cedencia en compresión		$\sigma_y$ [=](MPa)	
	Cedencia en cortante		$\tau_u$ [=](MPa)	
	Última en tracción		$\sigma_{u=}$ [=](MPa)	
	Última en compresión		$\sigma_{u=}$ [=](MPa)	
	Última en cortante		$\tau_u$ [=](MPa)	
<b>RIGIDEZ</b>	Módulo de Young		E [=](MPa)	
<b>DUREZA</b>	Dureza		HB [=]kg/mm <sup>2</sup> HV [=]kgf HR [=]Adimensional	
<b>ENERGÍA</b>	Resiliencia		R [=]( J/m <sup>2</sup> )	
	Tenacidad		K [=](MPa.m <sup>1/2</sup> )	
<b>DUCTILIDAD</b>	Ductilidad		$\epsilon_u$ [=]m	
<b>FATIGA</b>	Límite de fatiga		$\sigma_e$ [=](MPa)	
<b>PROPIEDADES TÉRMICAS</b>				
<b>TEMPERATURA</b>	Fusión		$T_m$ [=](C)	
	Transición vítrea		$T_g$ [=](C)	
	Maxima de servicio		$T_{max}$ [=](C)	
	Mínima de servicio		$T_{min}$ [=](C)	
	Conductividad		K [=](W/m.K)	
	Calor específico		c [=](cal/g.K)	

CATEGORÍA	NIVEL	SELECCIONAR EL NIVEL QUE SE DESEA OBTENER EN EL MATERIAL	SÍMBOLO Y UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIONES
	Coefficiente de expansión		$\alpha$ [=] (* 10 <sup>-6</sup> /°C)	
	Resistencia al choque térmico		$\Delta Ts$ [=](C)	
<b>PROPIEDADES ELÉCTRICAS</b>				
<b>RESISTIVIDAD</b>	Resistividad eléctrica		$\rho_e$ [=] ( $\Omega$ .m)	
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	Conductividad eléctrica		$\sigma$ [=] 1/( $\Omega$ .m)	
<b>PROPIEDADES ÓPTICAS</b>				
<b>TRANSMITANCIA LUMINOSA</b>	Transmitancia luminosa		$T$ [=] %	
<b>ÍNDICE DE REFRACCIÓN</b>	Índice de refracción		$\eta$ [=] Adimensional	
<b>REFLECTIVIDAD</b>	Reflexión		Comparación con respecto a patrones	
<b>LUMINISCENCIA</b>	Luminiscencia		Comparación con respecto a patrones	
<b>APARIENCIA</b>	Translucidez		Comparación con respecto a patrones	
	Opacidad			
<b>PROPIEDADES ACÚSTICAS</b>				
<b>ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO</b>	Acondicionamiento acústico		Comparación con respecto a patrones	
<b>AISLAMIENTO ACÚSTICO</b>	Aislamiento acústico			
<b>PROPIEDADES MAGNÉTICAS</b>				
<b>MAGNETISMO</b>	Antiferromagnético		$M_s$ [=] (A/m)	
	Ferromagnético			

Tabla 2: Funcionalidades sensoriales deseadas en el material a diseñar

PROPIEDADES SENSORIALES						
PROPIEDADES VISUALES						
TIPO	CATEGORÍA	NIVEL	SELECCIONAR EL NIVEL QUE SE DESEA OBTENER EN EL MATERIAL			OBSERVACIONES
APARIENCIA FORMAL	DIMENSIONAL	Unidimensional	<input type="checkbox"/>			
		Bidimensional	<input type="checkbox"/>			
		Tridimensional	<input type="checkbox"/>			
	ESTRUCTURAL	Homogéneo	<input type="checkbox"/>			
		Heterogéneo	<input type="checkbox"/>			
		Celular	<input type="checkbox"/>			
APARIENCIA LUMÍNICA	APARIENCIA	Refractante	A	M	B	
		Reflectante	A	M	B	
		Transmisivo	A	M	B	
		Absorbente	A	M	B	
	LUMINISCENCIA	Fosforescente	<input type="checkbox"/>			
		Fluorescente	<input type="checkbox"/>			
CROMÁTICA	MATICES	Primarios	<input type="checkbox"/>			
		Secundarios	<input type="checkbox"/>			
		Intermedios	<input type="checkbox"/>			
		Neutros	<input type="checkbox"/>			
	TONO	Claro	<input type="checkbox"/>			
		Oscuro	<input type="checkbox"/>			
	SATURACIÓN	Alta	<input type="checkbox"/>			
		Media	<input type="checkbox"/>			
		Baja	<input type="checkbox"/>			
PROPIEDADES TÁCTILES						
CONDICIÓN SUPERFICIAL	TEXTURA	Liso	<input type="checkbox"/>			
		Rugoso	<input type="checkbox"/>			
		Punzante	<input type="checkbox"/>			
		Cortante	<input type="checkbox"/>			
		Suave	<input type="checkbox"/>			
	DUREZA	Rígido	A	M	B	
		Flexible	A	M	B	
	FRICCIÓN	Deslizante	<input type="checkbox"/>			
		Antideslizante	<input type="checkbox"/>			
	HUMEDAD	Seco	<input type="checkbox"/>			
		Húmedo	<input type="checkbox"/>			
TEMPERATURA	TEMPERATURA	Cálido	<input type="checkbox"/>			
		Ambiente	<input type="checkbox"/>			
		Frio	<input type="checkbox"/>			

TIPO	CATEGORÍA	NIVEL	SELECCIONAR EL NIVEL QUE SE DESEA OBTENER EN EL MATERIAL			OBSERVACIONES
PESO	PESO	Ligero	<input type="checkbox"/>			
		Denso	<input type="checkbox"/>			
<b>PROPIEDADES OLFATIVAS</b>						
AROMA	AROMA	Primarios	<input type="checkbox"/>			
		Secundarios	<input type="checkbox"/>			
		Terciarios	<input type="checkbox"/>			
		Inoloro	<input type="checkbox"/>			
	INTENSIDAD	Alto	<input type="checkbox"/>			
		Medio	<input type="checkbox"/>			
		Bajo	<input type="checkbox"/>			
<b>PROPIEDADES GUSTATIVAS</b>						
SABOR	SABOR	Salado	A	M	B	
		Dulce	A	M	B	
		Acido (agrio)	A	M	B	
		Amargo	A	M	B	
		Picante	A	M	B	
		Insaboro	A	M	B	
		Metálico	A	M	B	
INTENSIDAD	INTENSIDAD	Alto	<input type="checkbox"/>			
		Medio	<input type="checkbox"/>			
		Bajo	<input type="checkbox"/>			
<b>PROPIEDADES AUDITIVAS</b>						
SONIDO	TONO	Agudo	A	M	B	
		Grave	A	M	B	
	DURACIÓN	Largo	A	M	B	
		Corto	A	M	B	

#### 4.1.3 Fase 3: Reconocer las condiciones de diseño impuestas por factores externos al material.

##### Concepto

Identificar las limitaciones asignadas por el contexto de uso que va a tener el material y la forma de la materia prima, y que afecten la selección de la naturaleza, la forma, el costo y temperatura de proceso del material.

##### Práctica

**PASO 1:** Generar una matriz donde se identifiquen los posibles contextos que condicionen el diseño del material y seleccionar los factores que esté delimitando el contexto, ya sea desde la temperatura de transformación, el costo, la morfología de la presentación comercial o el material (Ver tabla 3).

**PASO 2:** Verificar que, si el contexto condiciona únicamente la presentación comercial. Se debe revisar la tabla 4 donde se observan las presentaciones comerciales en las que se encuentran las clasificaciones principales de los materiales. Posterior a esto se debe continuar con la **Etapa 2/ Fase 1 de la metodología.**

**PASO 3:** Verificar que, si el contexto condiciona únicamente él o los materiales. Si el contexto condiciona la clasificación general de él o los materiales, se debe revisar la tabla 4 donde se observan las presentaciones comerciales en las que se encuentran las clasificaciones principales de los materiales. Posterior a esto se debe continuar con la **Etapa 2/Fase 1 de la metodología**. Si el contexto condiciona un material específico se debe revisar la tabla 4. Posterior a esto se debe continuar con la **Etapa 2/Fase 2 de la metodología**.

**PASO 4:** Verificar que, si el contexto condiciona él o los materiales con sus respectivas presentaciones comerciales. Se debe continuar con la **Etapa 2/Fase 2 de la metodología**. También es posible que en este paso la temperatura para la transformación del material pueda ser condicionada por el contexto.

**PASO 5:** Verificar que, si el contexto condiciona la temperatura de procesamiento del material a diseñar. Se sugiere revisar el libro *Materials selection in mechanical design* (Ashby, 2005), donde se especifican las temperaturas de fusión de diferentes materiales, con el fin de obtener un posible material o posible clasificación de materiales que cumplan con esta condición. Posteriormente, se debe retomar el proceso desde el **Paso 3/ Fase 3 esta misma etapa**.

Tabla 3: Posibles contextos que condicionan el diseño del material

IDENTIFICAR LOS POSIBLES CONTEXTOS	SELECCIONAR LA PRESENTACIÓN COMERCIAL EN CASO QUE HAYA SIDO CONDICIONADA POR EL CONTEXTO									ESPECIFICAR UN MATERIAL EN CASO QUE HAYA SIDO CONDICIONADO POR EL CONTEXTO	ESPECIFICAR LA TEMPERATURA PARA LA TRANSFORMACIÓN DEL MATERIAL EN CASO QUE HAYA SIDO CONDICIONADO POR EL CONTEXTO	REALIZAR OBSERVACIONES EN CASO DE SER REQUERIDAS
	LÁMINA	PELÍCULA	POLVO	GRANOS	LÍQUIDO	VOLÚMEN	PERFIL	FIBRA	OTRAS			
CONTEXTOS												
TECNOLOGÍA												
ECONOMÍA												
MEDIO AMBIENTE												
NORMATIVA												
MERCADO												
CLIENTE												

Tabla 4: Materiales condicionados por el contexto

ESPECIFICAR UN MATERIAL EN CASO QUE HAYA SIDO CONDICIONADO POR EL CONTEXTO	IDENTIFICAR LAS DIMENSIONES (ÁREA-VOLÚMEN)DE LA MATERIA PRIMA EN CASO QUE HAYAN SIDO CONDICIONADAS POR EL CONTEXTO							
MATERIAL	LÁMINA	PELÍCULA	POLVO	GRANOS	LÍQUIDO	VOLÚMEN	PERFIL	FIBRA
METALES	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
POLÍMEROS	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
CERÁMICOS	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI
NATURALES	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI



4.2 Etapa 2  
Selección de materiales

Partiendo de la información adquirida en la fase de **identificación de la necesidad funcional** se procede a seleccionar él o los materiales que van a servir en el diseño del nuevo material. Para seleccionar el material se deben tener en cuenta las siguientes fases:

#### **4.2.1 Fase 1: Identificación de materiales con atributos similares.**

##### **Concepto**

Determinar un conjunto finito de posibles materiales con características cualitativas y cuantitativas que cumplan con las necesidades funcionales que debe tener el material a diseñar.

##### **Práctica**

**PASO 1:** Seleccionar el material o los materiales haciendo uso de herramientas como las que se plantean en el libro *Materials and design* (Ashby & Johnson, 2002). También es posible utilizar herramientas digitales como el CES EDUPACK (Granta , 2011), MatWeb. *Material property data* (MatWeb, 2011), *Material explorer* (Material explorer, 2011), Mater (Mater, 2010).

#### **4.2.2 Fase 2: Identificación de la presentación comercial de los materiales seleccionados.**

##### **Concepto**

Identificar las presentaciones comerciales en las que se pueden adquirir las materias primas de los materiales condicionados por el contexto teniendo en cuenta las dimensiones y los costos respectivos a cada material.

##### **Práctica**

**PASO 1:** Generar una matriz donde se identifique el o los materiales condicionados por el contexto y seleccionar para cada uno de ellos las respectivas presentaciones comerciales en las que puede ser adquirido, especificando las dimensiones y los costos (Ver tabla 5).

Tabla 5: Materiales seleccionados con sus respectivas presentaciones comerciales

ESPECIFICAR LOS MATERIALES IDENTIFICADOS EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES	IDENTIFICAR LAS DIMENSIONES DE LA MATERIA PRIMA DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS									OBSERVACIONES
MATERIAL	LÁMINA	PELÍCULA	POLVO	GRANOS	LÍQUIDO	VOLÚMEN	PERFIL	FIBRA	OTRAS	
ESPECIFICAR LOS MATERIALES IDENTIFICADOS EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES	IDENTIFICAR LOS COSTOS DE LA MATERIA PRIMA DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS									OBSERVACIONES
MATERIAL	LÁMINA (\$/m)	PELÍCULA (\$/m)	POLVO (\$/g)	GRANOS (\$/g)	LÍQUIDO (\$/m <sup>3</sup> ) (\$/kg)	VOLÚMEN (\$/m <sup>3</sup> ) (\$/g)	PERFIL (\$/m)	FIBRA (\$/m)	OTRAS	

**4.2.3 Fase 3: Selección del esquema de diseño del material a diseñar.**

**Concepto**

Seleccionar la configuración formal que ofrecen los materiales híbridos y que tendrá el material a diseñar de acuerdo a la presentación formal de las materias primas y a los atributos requeridos.

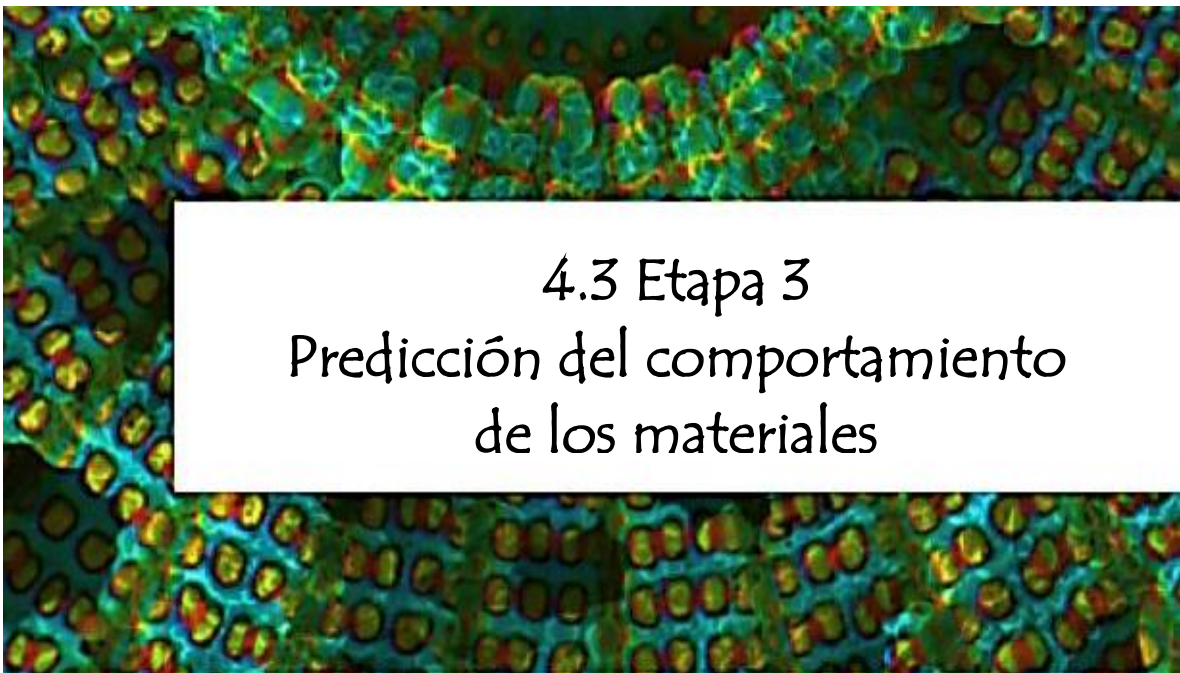
**Práctica**

**PASO 1:** Generar una matriz donde se identifiquen las morfologías de las presentaciones comerciales que determinan los esquemas de diseño. De acuerdo a las presentaciones comerciales seleccionadas en el **Paso 1/Fase 2 de la metodología** y de esta forma será posible seleccionar uno de los esquemas de diseño que se presentan allí (Ver tabla 6).

**Tabla 6: Morfologías de las presentaciones comerciales que determinan los esquemas de diseño**

POSIBLES ESQUEMAS DE DISEÑO		SELECCIONAR EL ESQUEMA DE DISEÑO DEL MATERIAL A DISEÑAR	PRESENTACIÓN COMERCIAL UTILIZADA EN CADA ESQUEMA DE DISEÑO	OBSERVACIONES
SANDWICH	UNA CARA		LÁMINAS VOLÚMENES	
	DOS CARAS		PERFILES LÍQUIDOS	
COMPUESTO	FIBROSO		POLVOS GRANOS	
	PARTICULADO		LÍQUIDOS FIBRA	
MEZCLA POR FASES	MONOFÁSICA		POLVOS GRANOS LÍQUIDOS	
	POLIFÁSICA		FIBRAS LÁMINAS VOLÚMENES PERFILES	

SEGMENTO	UNA DIMENSIÓN		PERFILES	
	DOS DIMENSIONES		FIBRA	
	TRES DIMENSIONES		LÁMINAS	
LAMINADO	BICAPA		LÁMINAS	
	MULTICAPA		PELÍCULAS	
ENREJADO	RÍGIDO		FIBRA	
	FLEXIBLE		PERFILES	



4.3 Etapa 3  
Predicción del comportamiento  
de los materiales

Con base en los conocimientos teóricos de los materiales se busca que el diseñador identifique el comportamiento posible del material de forma teórica y práctica pasando por la siguiente fase:

#### **4.3.1 Fase 1: Interpretar el comportamiento del material.**

##### **Concepto**

Interpretar el comportamiento que tendrá el material teniendo en cuenta que, los materiales diseñados bajo el esquema planteado en esta metodología tendrán en la mayoría de los casos un comportamiento anisotrópico, lo que indica que las propiedades serán evaluadas de acuerdo a la dirección u orientación del material. En el proceso de diseño del material, será el mismo diseñador quien podrá establecer cuáles propiedades se van a controlar basándose en las siguientes variables: Naturaleza del material, morfología del material, proporción de él o los materiales, distribución del material, proceso de transformación, direccionalidad del comportamiento.

##### **Práctica**

**PASO 1:** Documentar científica y/o técnicamente el posible comportamiento del material y para eso es necesario remitirse a diversas bibliografías (Ashby, 2005), (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2007) (Groover, 1997), (Askeland & Phulé, 2003), (Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, & Warner, 2000), (Peña Andrés, 2009) y documentos científicos (Ashby & Bréchet, 2003), (Ermolaeva, Kaveline, & Spoomaker, 2002).

**PASO 2:** Predecir las propiedades sensoriales de los materiales teniendo en cuenta que, la interacción física en la categoría de textura, fricción, humedad y temperatura se deben evaluar de acuerdo a la dimensionalidad propuesta para el material final.

**PASO 3:** Predecir las propiedades técnicas de los materiales teniendo en cuenta que, la interacción física en la categoría de resistencia que hace parte de las propiedades mecánicas, se debe evaluar de acuerdo a la dimensionalidad propuesta para el material final.

**PASO 4:** Generar una matriz donde se visualicen los esquemas de diseño seleccionados en la **Etapa 2/ Fase 3** con la posibilidad de determinar la funcionalidad posible desde lo sensorial y desde lo técnico (Ver tabla 7 y 8). Estas funcionalidades pueden diferir a las seleccionadas en las tablas 1 y 2, ya que allí se ingresó la información de la funcionalidad deseada, la cual en esa etapa de la metodología no se había visto influenciada por variables como: Condiciones del contexto, identificación formal de las materias primas, la selección de materiales y el esquema de diseño.

Tabla 7: Funcionalidades sensoriales posibles de acuerdo al esquema de diseño seleccionado

COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DISEÑO SELECCIONADO	ESQUEMA DE DISEÑO DEL MATERIAL A DISEÑAR												
	COMPUESTO		SANDWICH		ENREJADO		SEGMENTO			LAMINADO		MEZCLAS POR FASES	
	PARICULADOS	FIBROSOS	UNA CARA	DOS CARAS	RÍGIDO	FLEXIBLE	UNA DIMENSIÓN	DOS DIMENSIONES	TRES DIMENSIONES	BICAPA	MULTICAPA	MONOFÁSICA	POLIFÁSICA
<b>PROPIEDADES VISUALES</b>													
<b>DIMENSIONAL</b>													
Unidimensional													
Bidimensional													
Tridimensional													
<b>ESTRUCTURAL</b>													
Homogéneo													
Heterogéneo													
Celular													
<b>APARIENCIA</b>													
Refractante													
Reflectante													
Transmisivo													
Absorbente													
<b>LUMINISCENCIA</b>													
Fosforescente													
Fluorescente													
<b>MATICES</b>													
Primarios													
Secundarios													
Intermedios													
Neutros													
<b>TONO</b>													
Claro													
Oscuro													
<b>SATURACIÓN</b>													
Alta													
Media													
Baja													
<b>PROPIEDADES TÁCTILES</b>													
<b>TEXTURA</b>													
Liso													
Rugoso													
Punzante													




PROPIEDADES AUDITIVAS													
TONO													
Agudo													
Grave													
DURACIÓN													
Largo													
Corto													

Tabla 8: Funcionalidades técnicas posibles de acuerdo al esquema de diseño seleccionado

COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DISEÑO SELECCIONADO	ESQUEMA DE DISEÑO DEL MATERIAL A DISEÑAR												
	COMPUESTO		SANDWICH		ENREJADO		SEGMENTO			LAMINADO		MEZCLAS POR FASES	
	PARICULADOS	FIBROSOS	UNA CARA	DOS CARAS	RÍGIDO	FLEXIBLE	UNA DIMENSIÓN	DOS DIMENSIONES	TRES DIMENSIONES	BICAPA	MULTICAPA	MONOFÁSICA	POLIFÁSICA
PROPIEDADES FÍSICAS													
CONCENTRACIÓN													
Soluble													
DENSIDAD													
Denso													
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO													
Fricción													
PROPIEDADES QUÍMICAS													
TOXICIDAD													
Tóxico													
REACTIVIDAD													
Reactivo													
INFLAMABILIDAD													
Combustible													
Ignífugo													
Autoextinguible													
ACIDEZ													
Ácido													
RESISTENCIA A LA INTERPERIE													
Oxidación													
Corrosión													

PROPIEDADES MECÁNICAS													
RESISTENCIA													
Compresión													
Tracción													
Cortante													
Cedencia en tracción													
Cedencia en compresión													
Cedencia en cortante													
Última en tracción													
Última en compresión													
Última en cortante													
RIGIDEZ													
Módulo de Young													
DUREZA													
Dureza													
ENERGÍA													
Resiliencia													
Tenacidad													
DUCTILIDAD													
Ductilidad													
FATIGA													
Límite de fatiga													
PROPIEDADES TÉRMICAS													
TEMPERATURA													
Fusión													
Transición vítrea													
Maxima de servicio													
Mínima de servicio													
Conductividad													
Calor específico													
Coefficiente de expansión													
Resistencia al choque térmico													
PROPIEDADES ELÉCTRICAS													
RESISTIVIDAD													
Resistividad eléctrica													
CONDUCTIVIDAD													
Conductividad eléctrica													

PROPIEDADES ÓPTICAS													
TRANSMITANCIA LUMINOSA													
Transmitancia luminosa													
ÍNDICE DE REFRACCIÓN													
Índice de refracción													
REFLECTIVIDAD													
Reflexión													
LUMINISCENCIA													
Luminiscencia													
APARIENCIA													
Traslucidez													
Opacidad													
PROPIEDADES ACÚSTICAS													
ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO													
Acondicionamiento acústico													
AISLAMIENTO ACÚSTICO													
Aislamiento acústico													
PROPIEDADES MAGNÉTICAS													
MAGNETISMO													
Antiferromagnético													
Ferromagnético													

A microscopic image of a woven fabric, showing a grid-like pattern of fibers in shades of blue, green, and yellow. A white rectangular text box is overlaid on the center of the image.

## 4.4 Etapa 4 Proceso de materialización

El proceso de materialización es la fase experimental que permite dar forma al material. Para esta etapa es fundamental tener en cuenta:

#### **4.4.1 Fase 1: Establecer la presentación formal final del material.**

##### **Concepto**

De acuerdo a la prestación funcional requerida por el material a diseñar, se debe plantear la presentación que va a tener el material final la cual dependerá, tanto de la geometría, de las dimensiones y de los procesos de fabricación que se utilicen para obtener el material final.

##### **Práctica**

**PASO 1:** Generar una matriz donde a partir del esquema de diseño seleccionado en la **Etapa 2/Fase 3 de la metodología** se especifiquen las posibles formas finales que puede tener el material a diseñar a partir de técnicas experimentales y artesanales permitiendo que el uso de la metodología no dependa de la tecnología para ser utilizada (Ver tabla 9).

**PASO 2:** Generar una matriz donde a partir del esquema de diseño seleccionado en la **Etapa 2/Fase 3 de la metodología** se especifiquen las posibles formas finales que puede tener el material a diseñar a partir de técnicas de transformación tecnológicas (Ver tabla 10).

Tabla 9: Selección de la forma final del material a partir de técnicas experimentales y artesanales

SELECCIONAR EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE EL ESQUEMA DE DISEÑO SELECCIONADO	SELECCIONAR EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE LA FORMA FINAL DEL MATERIAL A DISEÑAR		DEFINIR LAS DIMENSIONES DE LA FORMA FINAL QUE VA A TENER EL MATERIAL A DISEÑAR
<p><b>SANDWICH</b></p> <p>UNA CARA <input type="checkbox"/></p> <p>DOS CARAS <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		
<p><b>COMPUESTO</b></p> <p>FIBROSO <input type="checkbox"/></p> <p>PARTICULADO <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		
<p><b>MEZCLA POR FASES</b></p> <p>MONOFÁSICA <input type="checkbox"/></p> <p>POLIFÁSICA <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		
<p><b>SEGMENTO</b></p> <p>UNA DIMENSIÓN <input type="checkbox"/></p> <p>DOS DIMENSIONES <input type="checkbox"/></p> <p>TRES DIMENSIONES <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		
<p><b>LAMINADO</b></p> <p>BICAPA <input type="checkbox"/></p> <p>MULTICAPA <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		
<p><b>ENREJADO</b></p> <p>RÍGIDO <input type="checkbox"/></p> <p>FLEXIBLE <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		

Tabla 10: Selección de la forma final del material a partir de técnicas de transformación tecnológicas

SELECCIONAR EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE EL ESQUEMA DE DISEÑO SELECCIONADO	SELECCIONAR EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE LA FORMA FINAL DEL MATERIAL A DISEÑAR	DEFINIR LAS DIMENSIONES DE LA FORMA FINAL QUE VA A TENER EL MATERIAL A DISEÑAR	DEFINIR EL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN QUE SE REQUIERE DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DISEÑO Y LA FORMA FINAL DEL MATERIAL A DISEÑAR
<p><b>SANDWICH</b></p> <p>UNA CARA <input type="checkbox"/></p> <p>DOS CARAS <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		
<p><b>COMPUESTO</b></p> <p>FIBROSO <input type="checkbox"/></p> <p>PARTICULADO <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		
	PELÍCULAS		
	FIBRAS		
	POLVO		
	GRANOS		
<p><b>MEZCLA POR FASES</b></p> <p>MONOFÁSICA <input type="checkbox"/></p> <p>POLIFÁSICA <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		
<p><b>SEGMENTO</b></p> <p>UNA DIMENSIÓN <input type="checkbox"/></p> <p>DOS DIMENSIONES <input type="checkbox"/></p> <p>TRES DIMENSIONES <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS		
	VOLÚMENES		
	PERFILES		

<p style="text-align: center;"><b>LAMINADO</b></p> <p>BICAPA <input type="checkbox"/></p> <p>MULTICAPA <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS			
	VOLÚMENES			
	PERFILES			
	PELÍCULAS			
	FIBRAS			
<p style="text-align: center;"><b>ENREJADO</b></p> <p>RÍGIDO <input type="checkbox"/></p> <p>FLEXIBLE <input type="checkbox"/></p>	LÁMINAS			
	VOLÚMENES			
	PERFILES			
	FIBRAS			

**4.4.2 Fase 2: Selección de procesos productivos.**

**Concepto**

Tener un conocimiento teórico de las prestaciones y restricciones del procesamiento que tienen cada uno de los materiales utilizados en el diseño del material final.

**Práctica**

**PASO 1:** Revisar los procesos productivos existentes y para eso posible remitirse a la bibliografía (Groover, 1997), (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2007), (Lefteri, 2008). Esto se realiza siempre y cuando el esquema de diseño del material a diseñar dependa de la tecnología.

**PASO 2:** Revisar las fichas técnicas de los materiales para verificar información relevante en el procesamiento de cada uno de ellos.

**PASO 3:** Generar una matriz donde se especifique la o las técnicas de transformación que se requieren obtener el esquema de diseño seleccionado (Ver tabla 10). Si el material a diseñar requiere técnicas experimentales y artesanales continuar con la **Fase 3 de esta misma Etapa**.

#### 4.4.3 Fase 3: Obtención de muestras y regulación del proceso

##### Concepto

A partir de los laboratorios de experimentación generar documentos que registren el procedimiento de obtención de las muestras de los materiales que se van a diseñar.

##### Práctica

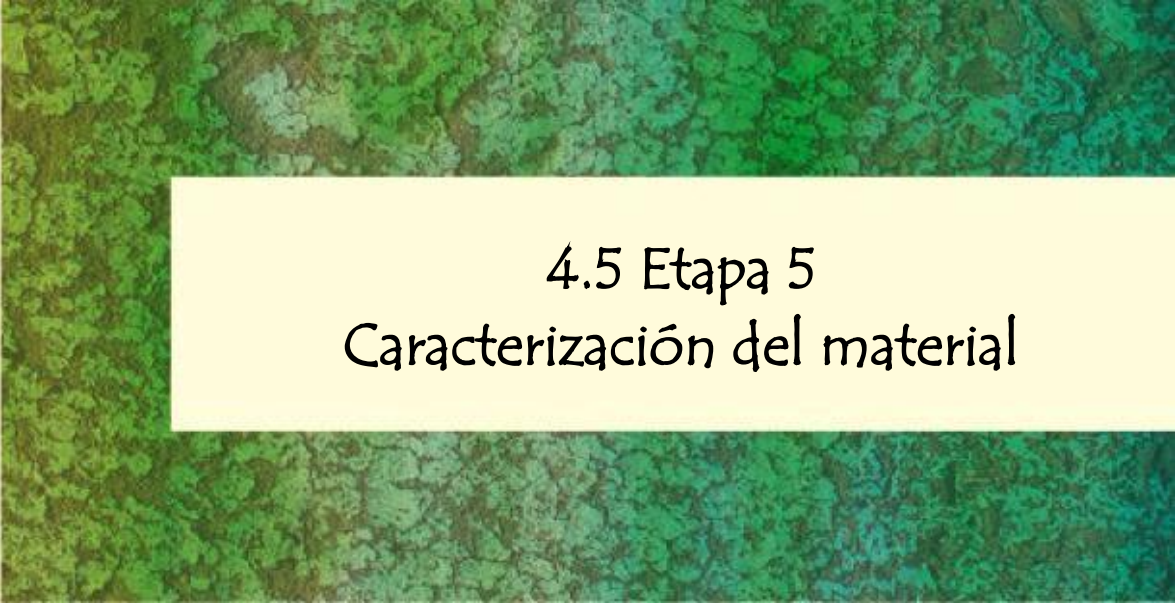
**PASO 1:** Fabricar las muestras del material a partir de las técnicas de transformación seleccionadas, registrando todos los parámetros del proceso. Esto debe realizarse tantas veces se requiera para normalizar el proceso. Esto significa que cada vez que se siga el proceso se va a obtener el mismo resultado. El número de muestras a obtener depende del número de pruebas de caracterización a realizar.

**PASO 2:** Clasificar las muestras que van a ser utilizadas en el proceso de caracterización de propiedades técnicas, ya que de acuerdo a la pruebas a las que vaya a ser sometida la muestra, existen normativas que influyen en la geometría de la probeta. Para esto se debe tener en cuenta la **Etapa 5/Fase 1/Paso 2 de la metodología.**

**PASO 3:** Obtener las probetas para la caracterización técnica a partir de las muestras obtenidas en el **Etapa 4 /Fase 3/Paso 1 y 2 de la metodología.**

**PASO 4:** Obtener las probetas para la caracterización sensorial a partir de las muestras obtenidas en el **Etapa 4 /Fase 3/Paso 1 de la metodología.**

**PASO 5:** Realizar una ficha técnica por cada material obtenido. Estas fichas serán construidas bajo el criterio del diseñador, ya que el objetivo es que en ellas se pueda recopilar información que le sea útil en el proceso de experimentación y adicionalmente le sirvan para ingresar las características que él considere relevantes de cada muestra diseñada.



4.5 Etapa 5  
Caracterización del material

En esta etapa, se identifican las características técnicas y sensoriales que tiene el material diseñado y se comprueba su óptimo desempeño funcional.

#### **4.5.1 Fase 1: Identificación de las técnicas de caracterización**

##### **Concepto**

Identificar las herramientas que existen para la caracterización de materiales y seleccionar las más apropiadas para el estudio del material obtenido.

##### **Práctica**

**PASO 1:** Retomar las propiedades sensoriales seleccionadas en la tabla 7 y, de acuerdo a éstas, identificar los procedimientos aplicables a la caracterización de las probetas (Ver capítulo 3 de esta investigación “Los sentidos en la materialidad”).

**PASO 2:** Retomar las propiedades técnicas seleccionadas en la tabla 8 y, de acuerdo a éstas, identificar las normas aplicables a la caracterización de las probetas.

**PASO 3:** Generar una matriz que reúna la información que se requiere antes de realizar el proceso de caracterización de las propiedades técnicas (Ver tabla 11) y de las propiedades sensoriales (Ver tabla 12)

**PASO 4:** Generar una matriz que reúna la información que se obtiene en el proceso de caracterización de las funcionalidades sensoriales reales (Ver tabla 13) y otra matriz para la caracterización de las funcionalidades técnicas reales (Ver tabla 14). Esta matriz debe tener la información recopilada en las tablas 1, 2, 7 y 8, con el objetivo de hacer simultáneamente una comparación entre las funcionalidades deseadas, posibles y reales. Las funcionalidades reales son las que se identifican después de la fabricación y la caracterización de las muestras.

Tabla 11: Información requerida para la caracterización de las propiedades técnicas

INDICAR LAS FUNCIONALIDADES TÉCNICAS POSIBLES QUE SERÁN CARACTERIZADAS		INDICAR EL TIPO DE NORMA QUE DEBE SER UTILIZADO EN LA CARACTERIZACIÓN		INDICAR ÉL O LOS EQUIPOS REQUERIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN	DESCRIBIR LA GEOMETRÍA DE LAS PROBETAS PARA LA CARACTERIZACIÓN	
CATEGORÍA	NIVEL	SELECCIÓN DE LA NORMA	OBSERVACIONES	EQUIPOS	DIMENSIONES	IMAGEN
		ISO				
		ASTM				
		UNE-EN				
		OTRAS				

Tabla 12: Información requerida para la caracterización de las propiedades sensoriales

INDICAR LAS FUNCIONALIDADES SENSORIALES POSIBLES QUE SERÁN CARACTERIZADAS		INDICAR EL TIPO DE RECURSO QUE SE UTILIZARÁ PARA LA CARACTERIZACIÓN			DESCRIBIR LA GEOMETRÍA DE LAS PROBETAS PARA LA CARACTERIZACIÓN	
CATEGORÍA	NIVEL	RECURSO HUMANO	RECURSO DOCUMENTAL	RECURSO TÉCNICO	DIMENSIONES	IMAGEN

Tabla 13: Análisis comparativo entre las funcionalidades sensoriales posibles y las funcionalidades reales

PROPIEDADES SENSORIALES								
PROPIEDADES VISUALES								
TIPO	CATEGORÍA	NIVEL	FUNCIONALIDADES DESEADAS DEL MATERIAL A DISEÑAR (VER TABLA 2)			FUNCIONALIDADES POSIBLES DEL MATERIAL A DISEÑAR (VER TABLA 7)	FUNCIONALIDADES REALES DEL MATERIAL DISEÑADO	OBSERVACIONES
APARIENCIA FORMAL	DIMENSIONAL	Unidimensional						
		Bidimensional						
		Tridimensional						
	ESTRUCTURAL	Homogéneo						
		Heterogéneo						
		Celular						
APARIENCIA LUMÍNICA	APARIENCIA	Refractante	A	M	B			
		Reflectante	A	M	B			
		Transmisivo	A	M	B			
		Absorbente	A	M	B			
	LUMINISCENCIA	Fosforescente						
		Fluorescente						
CROMÁTICA	MATICES	Primarios						
		Secundarios						
		Intermedios						
		Neutros						

	<b>TONO</b>	Claro						
		Oscuro						
	<b>SATURACIÓN</b>	Alta						
		Media						
		Baja						
<b>PROPIEDADES TÁCTILES</b>								
<b>CONDICIÓN SUPERFICIAL</b>	<b>TEXTURA</b>	Liso						
		Rugoso						
		Punzante						
		Cortante						
		Suave						
	<b>DUREZA</b>	Rígido	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>B</b>			
		Flexible	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>B</b>			
	<b>FRICCIÓN</b>	Deslizante						
		Antideslizante						
	<b>HUMEDAD</b>	Seco						
Húmedo								
<b>TEMPERATURA</b>	<b>TEMPERATURA</b>	Cálido						
		Ambiente						
		Frio						
<b>PESO</b>	<b>PESO</b>	Ligero						

		Denso					
<b>PROPIEDADES OLFATIVAS</b>							
<b>AROMA</b>	<b>AROMA</b>	Primarios					
		Secundarios					
		Terciarios					
		Inoloro					
<b>INTENSIDAD</b>	<b>INTENSIDAD</b>	Alto					
		Medio					
		Bajo					
<b>PROPIEDADES GUSTATIVAS</b>							
<b>SABOR</b>	<b>SABOR</b>	Salado					
		Dulce					
		Ácido (Agrio)					
		Amargo					
		Insaboro					
		Metálico					
<b>INTENSIDAD</b>	<b>INTENSIDAD</b>	Alto					
		Medio					
		Bajo					
<b>PROPIEDADES AUDITIVAS</b>							
<b>TONO</b>	Agudo	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>B</b>			
	Grave	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>B</b>			
<b>DURACIÓN</b>	Largo	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>B</b>			

	Corto	A	M	B				
--	-------	---	---	---	--	--	--	--

Tabla 14: Análisis comparativo entre las funcionalidades técnicas posibles y las funcionalidades reales

PROPIEDADES TÉCNICAS					
PROPIEDADES FÍSICAS					
CATEGORÍA	NIVEL	FUNCIONALIDADES DESEADAS DEL MATERIAL A DISEÑAR (VER TABLA 1)	FUNCIONALIDADES POSIBLES DEL MATERIAL A DISEÑAR (VER TABLA 8)	FUNCIONALIDADES REALES DEL MATERIAL DISEÑADO	OBSERVACIONES
CONCENTRACIÓN	Soluble				
DENSIDAD	Denso				
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO	Fricción				
PROPIEDADES QUÍMICAS					
TOXICIDAD	Tóxico				
REACTIVIDAD	Reactivo				
INFLAMABILIDAD	Combustible				
	Ignífugo				
	Auto extinguable				
ACIDEZ	Ácido				
RESISTENCIA A LA INTERPERIE	Oxidación				
	Corrosión				

PROPIEDADES MECÁNICAS					
<b>RESISTENCIA</b>	Compresión				
	Tracción				
	Cortante				
	Cedencia en tracción				
	Cedencia en compresión				
	Cedencia en cortante				
	Última en tracción				
	Última en compresión				
	Última en cortante				
<b>RIGIDEZ</b>	Módulo de Young				
<b>DUREZA</b>	Dureza				
<b>ENERGÍA</b>	Resiliencia				
	Tenacidad				
<b>DUCTILIDAD</b>	Ductilidad				
<b>FATIGA</b>	Límite de fatiga				
PROPIEDADES TÉRMICAS					
<b>TEMPERATURA</b>	Fusión				
	Transición vítrea				
	Maxima de servicio				
	Mínima de servicio				
	Conductividad				

	Calor específico				
	Coefficiente de expansión				
	Resistencia al choque térmico				
<b>PROPIEDADES ELÉCTRICAS</b>					
<b>RESISTIVIDAD</b>	Resistividad eléctrica				
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	Conductividad eléctrica				
<b>PROPIEDADES ÓPTICAS</b>					
<b>TRANSMITANCIA LUMINOSA</b>	Transmitancia luminosa				
<b>ÍNDICE DE REFRACCIÓN</b>	Índice de refracción				
<b>REFLECTIVIDAD</b>	Reflexión				
<b>LUMINISCENCIA</b>	Luminiscencia				
<b>APARIENCIA</b>	Traslúcidez				
	Opacidad				
<b>PROPIEDADES ACÚSTICAS</b>					
<b>ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO</b>	Acondicionamiento acústico				
<b>AISLAMIENTO ACÚSTICO</b>	Aislamiento acústico				
<b>PROPIEDADES MAGNÉTICAS</b>					
<b>MAGNETISMO</b>	Antiferromagnético				
	Ferromagnético				

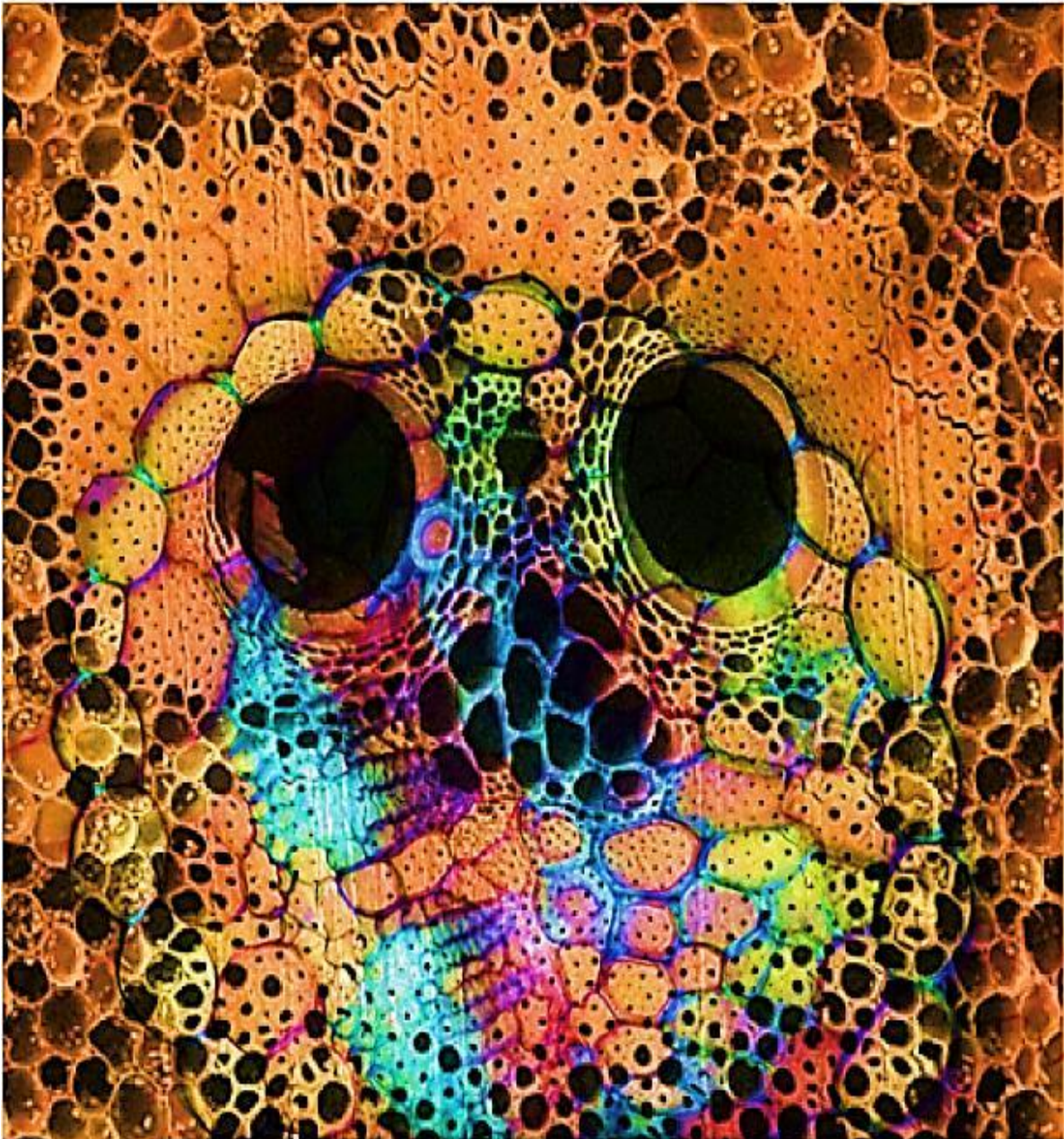
#### 4.5.2 Fase 2: Resultados y discusión.

##### Concepto

Se realiza un análisis comparativo de la información recopilada en la tabla 13 para determinar si se cumple con las necesidades funcionales planteadas para el material diseñado.

##### Práctica

**PASO 1:** Comparar los resultados adquiridos en el proceso de caracterización, de manera que se obtenga un resultado real y objetivo.



**CASO DE ESTUDIO**  
IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA  
EL DISEÑO DE MATERIALES CON PROPIEDADES  
METAFÍSICAS

## INTRODUCCIÓN

El tema del diseño de materiales se muestra pertinente en la medida que, en la actualidad, la nueva materialidad está obligando a los diseñadores a generar propuestas objetuales radicales que generen sensaciones cada vez más impactantes en los usuarios y los materiales representan un actor determinante en la responsabilidad del desempeño funcional técnico y sensorial de los objetos (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2010). El presente capítulo expone un caso de estudio utilizando la Metodología para el diseño de materiales con propiedades sensoriales. Para el desarrollo del estudio se trabajó con estudiantes de tercer semestre de la Facultad de Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana, quienes cursaron la asignatura Materiales para el diseño 1, donde adquieren las herramientas teóricas sobre la ciencia de los materiales. El uso de la metodología busca generar actividades de formación investigativa y fortalecer la teoría impartida en las clases a partir de sesiones prácticas y experimentales.

Actualmente los materiales más utilizados en el área del diseño, son los polímeros, los metales y los materiales compuestos, los cuales proponen productos novedosos e innovadores que sugieren usos a corto y largo plazo. Ambos tipos de productos han generado gran impacto social que implican un mejoramiento significativo en el desempeño funcional y, en algunos casos, perdurable o sustentable en el tiempo. En otros casos se han encontrado efectos contrarios, donde la duración de los resultados se ha convertido en secuelas también perdurables en el tiempo.

Este tipo de situaciones se han propiciado por la oferta constante de productos de uso a corto plazo, los cuales implican un reemplazo inmediato, independientemente del ciclo de vida de los mismos. Esto conlleva a un incremento en la producción de materia prima y simultáneamente a un incremento en el material de desecho, el cual, en ciertas situaciones, ocasiona problemas ambientales debido a la dificultad que presentan algunos de ellos en el proceso de reciclaje, reutilización y degradación. Por esa razón se encuentra una necesidad en diseñar materiales híbridos (Ashby M. , *Designing hybrid materials*, 2005) a partir de materiales cuya vida útil sea coherente al tiempo de uso de los productos, utilizando materiales que permitan la reutilización, reciclaje y procesamiento, disminuyendo el impacto ambiental (Mejía Gómez & Valencia Escobar, 2010).

Siendo consecuentes con la situación expuesta anteriormente, en el caso de estudio que se describirá en este capítulo, los estudiantes de la Facultad de Diseño Industrial deben hacer uso de desechos sólidos recolectados por las cooperativas de reciclaje de la ciudad de Medellín y de materiales cerámicos, particularmente el yeso, comercialmente referenciado como *maravilla* y producido por la fábrica *Corona*. La función que debe cumplir el material a diseñar es una función estética, que permita potenciar los atributos sensoriales del yeso. Se debe hacer claridad que la metodología para este caso en particular está basada en la experimentación sensorial.

#### **4.1 Etapa 1: Identificación de la necesidad funcional**

Para la detección e interpretación de atributos del material como producto final en el proceso de diseño conceptual, es necesario tener en cuenta las siguientes fases:

##### **4.1.1 Fase 1: Identificar las categorías de propiedades que sean relevantes funcionalmente para el material a diseñar.**

Identificar los tipos y las categorías existentes de las propiedades sensoriales y las propiedades técnicas que se quieran obtener en el material a diseñar. Para esto se sugiere hacer una revisión bibliográfica de libros de ciencia e ingeniería de materiales. En este caso de estudio las propiedades sensoriales son las únicas para el diseño del material, ya que la función definida anteriormente es una función estética. Para esto es importante la lectura del capítulo 3 de esta investigación “Los sentidos en la materialidad”. Allí se recopila la información necesaria para la comprensión de las propiedades sensoriales.

##### **4.1.2 Fase 2: Seleccionar para cada categoría de propiedades el nivel deseado que se espera obtener en el material a diseñar.**

Una vez que se tenga claridad en las propiedades relevantes de acuerdo a la necesidad funcional, se procede a llenar la matriz donde se seleccionará la categoría y el nivel que se desea obtener en el material a diseñar (Ver tabla 2). Recordar que por cada categoría de propiedades debe seleccionarse un solo nivel y que el material a diseñar no siempre tiene todas las categorías de propiedades propuestas en la tabla.

Tabla 1: Funcionalidades sensoriales deseadas en el material a diseñar

PROPIEDADES SENSORIALES						
PROPIEDADES VISUALES						
TIPO	CATEGORÍA	NIVEL	SELECCIONAR EL NIVEL QUE SE DESEA OBTENER EN EL MATERIAL			OBSERVACIONES
APARIENCIA FORMAL	DIMENSIONAL	Unidimensional	<input type="checkbox"/>			
		Bidimensional	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Tridimensional	<input type="checkbox"/>			
	ESTRUCTURAL	Homogéneo	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Heterogéneo	<input type="checkbox"/>			
		Celular	<input type="checkbox"/>			
APARIENCIA LUMÍNICA	APARIENCIA	Refractante	A	M	B	
		Reflectante	A	M	B	
		Transmisivo	A	M	B	
		Absorbente	A	M	B	
	LUMINISCENCIA	Fosforescente	<input type="checkbox"/>			
		Fluorescente	<input type="checkbox"/>			
CROMÁTICA	MATICES	Primarios	<input type="checkbox"/>			
		Secundarios	<input type="checkbox"/>			
		Intermedios	<input type="checkbox"/>			
		Neutros	<input checked="" type="checkbox"/>			
	TONO	Claro	<input type="checkbox"/>			
		Oscuro	<input checked="" type="checkbox"/>			
	SATURACIÓN	Alta	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Media	<input type="checkbox"/>			
		Baja	<input type="checkbox"/>			
PROPIEDADES TÁCTILES						
CONDICIÓN SUPERFICIAL	TEXTURA	Liso	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Rugoso	<input type="checkbox"/>			
		Punzante	<input type="checkbox"/>			
		Cortante	<input type="checkbox"/>			
		Suave	<input type="checkbox"/>			
	DUREZA	Rígido	A	M	B	
		Flexible	A	M	B	
	FRICCIÓN	Deslizante	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Antideslizante	<input type="checkbox"/>			
	HUMEDAD	Seco	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Húmedo	<input type="checkbox"/>			
TEMPERATURA	TEMPERATURA	Cálido	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Ambiente	<input type="checkbox"/>			
		Frio	<input type="checkbox"/>			

TIPO	CATEGORÍA	NIVEL	SELECCIONAR EL NIVEL QUE SE DESEA OBTENER EN EL MATERIAL			OBSERVACIONES
PESO	PESO	Ligero	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Denso	<input type="checkbox"/>			
<b>PROPIEDADES OLFATIVAS</b>						
AROMA	AROMA	Primarios	<input type="checkbox"/>			
		Secundarios	<input type="checkbox"/>			
		Terciarios	<input type="checkbox"/>			
		Inoloro	<input type="checkbox"/>			
	INTENSIDAD	Alto	<input type="checkbox"/>			
		Medio	<input type="checkbox"/>			
		Bajo	<input type="checkbox"/>			
<b>PROPIEDADES GUSTATIVAS</b>						
SABOR	SABOR	Salado	A	M	B	
		Dulce	A	M	B	
		Acido (agrio)	A	M	B	
		Amargo	A	M	B	
		Picante	A	M	B	
		Insaboro	A	M	B	
		Metálico	A	M	B	
INTENSIDAD	INTENSIDAD	Alto	<input type="checkbox"/>			
		Medio	<input type="checkbox"/>			
		Bajo	<input type="checkbox"/>			
<b>PROPIEDADES AUDITIVAS</b>						
SONIDO	TONO	Agudo	A	M	B	
		Grave	A	M	B	
	DURACIÓN	Largo	A	M	B	
		Corto	A	M	B	

**4.1.3 Fase 3: Reconocer las condiciones de diseño impuestas por factores externos al material.**

Identificar las limitaciones asignadas por el contexto de uso que va a tener el material y la forma de la materia prima, y que afecten la selección de la naturaleza, la forma, el costo y temperatura de proceso del material. En la introducción a este capítulo se especificaron algunas condiciones impuestas por el contexto para el diseño del material. La tabla 3 permite agrupar esta información para identificar las restricciones iniciales.

Tabla 2: Posibles contextos que condicionan el diseño del material

IDENTIFICAR LOS POSIBLES CONTEXTOS	SELECCIONAR LA PRESENTACIÓN COMERCIAL EN CASO QUE HAYA SIDO CONDICIONADA POR EL CONTEXTO									ESPECIFICAR UN MATERIAL EN CASO QUE HAYA SIDO CONDICIONADO POR EL CONTEXTO	ESPECIFICAR LA TEMPERATURA PARA LA TRANSFORMACIÓN DEL MATERIAL EN CASO QUE HAYA SIDO CONDICIONADO POR EL CONTEXTO	REALIZAR OBSERVACIONES EN CASO DE SER REQUERIDAS
CONTEXTOS	LÁMINA	PELÍCULA	POLVO	GRANOS	LÍQUIDO	VOLÚMEN	PERFIL	FIBRA	OTRAS	MATERIAL	TEMPERATURA	OBSERVACIONES
TECNOLOGÍA											23°C	El proceso se debe realizar a temperatura ambiente
ECONOMÍA												
MEDIO AMBIENTE				X					X	Vidrio Templado reciclado Vidrio Ámbar reciclado Viruta de Poliamida reciclada Viruta de madera reciclada		Las presentaciones comerciales seleccionadas corresponden a las presentaciones en las cuales se consiguen los materiales especificados, los cuales fueron adquiridos en las cooperativas de reciclaje de la ciudad de Medellín.
NORMATIVA												
MERCADO												
CLIENTE		X								Yeso		Las presentaciones comerciales seleccionadas corresponden a las presentaciones en la cual se consigue el material mencionado.

En la revisión de los pasos que sugiere la parte práctica de esta fase 3 (Ver capítulo 4, página 163), coincide para este caso de estudio en particular el paso 4, donde se sugiere verificar que, si el contexto condiciona él o los materiales con sus respectivas presentaciones comerciales, se debe continuar con la **Etapa 2/Fase 2 de la metodología**. También es posible que en este paso la temperatura para la transformación del material pueda ser condicionada por el contexto.

#### 4.2 Etapa 2: Selección de materiales

Partiendo de la información adquirida en la fase de **identificación de la necesidad funcional** se procede a seleccionar él o los materiales que van a servir en el diseño del nuevo material. Como los materiales ya han sido seleccionados bajo las condiciones del contexto se analiza la siguiente fase.

##### 4.2.2 Fase 2: Identificación de la presentación comercial de los materiales seleccionados.

En esta fase se especifican los materiales que han sido condicionados por el contexto (Ver tabla 3) describiendo las dimensiones y los costos de las presentaciones comerciales en las que pueden ser adquiridos cada uno de ellos. Para recopilar esta información se debe llenar la tabla 5.

Tabla 3: Materiales seleccionados con sus respectivas presentaciones comerciales

ESPECIFICAR LOS MATERIALES IDENTIFICADOS EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES	IDENTIFICAR LAS DIMENSIONES DE LA MATERIA PRIMA DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS									OBSERVACIONES
	LÁMINA	PELÍCULA	POLVO	GRANOS	LÍQUIDO	VOLÚMEN	PERFIL	FIBRA	OTRAS	
Vidrio ámbar y templado reciclado				9.5µm (Diámetro promedio)						El vidrio se consigue en las cooperativas de reciclaje triturado y las geometrías son similares a las de una hojuela. El tamaño que se muestra es el diámetro promedio estas hojuelas.
Viruta de Madera reciclada									60mmx10mmx3mm (Largo*Ancho*Espesor)	Las dimensiones son promedio.  La morfología dela presentación comercial es en forma de viruta.

Viruta de poliamida reciclada									100mmx10mmx1mm (Largo*Ancho*Espesor)	Las dimensiones son promedio.  La morfología de la presentación comercial es en forma de viruta.
Yeso Marca: Corona Referencia: Maravilla			No se requiere							El tamaño de la partícula del yeso no se requiere y adicionalmente no se especifica en el empaque comercial.
<b>ESPECIFICAR LOS MATERIALES IDENTIFICADOS EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES</b>	<b>IDENTIFICAR LOS COSTOS DE LA MATERIA PRIMA DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS</b>									<b>OBSERVACIONES</b>
<b>MATERIAL</b>	<b>LÁMINA (\$/m)</b>	<b>PELÍCULA (\$/m)</b>	<b>POLVO (\$/g)</b>	<b>GRANOS (\$/g)</b>	<b>LÍQUIDO (\$/m<sup>3</sup>) (\$/kg)</b>	<b>VOLÚMEN (\$/m<sup>3</sup>) (\$/g)</b>	<b>PERFIL (\$/m)</b>	<b>FIBRA (\$/m)</b>	<b>OTRAS</b>	
Vidrio ámbar y templado reciclado				\$3000 a \$5000						El vidrio lo venden en las cooperativas de reciclaje en canecas plásticas que tiene capacidad de 1g. Los costos son en moneda colombiana.
Viruta de Madera reciclada									No tiene costo	Este tipo de material no tiene costo y se puede obtener en las cooperativas, pero es más asequible en carpinterías o ebanisterías.
Viruta de poliamida reciclada									No tiene costo	Este tipo de material no tiene costo y se puede obtener en las cooperativas, pero es más asequible en empresas que maquinen piezas de plásticas.
Yeso Marca: Corona Referencia: Maravilla			\$2300 a \$2500							El yeso se consigue comercialmente en ferreterías y lo venden por bultos de 25kg cada uno. Los costos son en moneda colombiana.

**4.2.3 Fase 3: Selección del esquema de diseño del material a diseñar.**

Seleccionar la configuración formal que ofrecen los materiales híbridos y que tendrá el material a diseñar de acuerdo a la presentación formal de las materias primas y a los atributos deseados. Para agilizar el proceso de selección del esquema de diseño se debe revisar y diligenciar la tabla 6. Es importante tener claridad en el concepto de materiales híbridos y sus clasificaciones. Para esto se recomienda revisar el capítulo 1 de esta investigación “La ciencia de los materiales en el diseño”.

**Tabla 4: Morfologías de las presentaciones comerciales que determinan los esquemas de diseño**

POSIBLES ESQUEMAS DE DISEÑO		SELECCIONAR EL ESQUEMA DE DISEÑO DEL MATERIAL A DISEÑAR	PRESENTACIÓN COMERCIAL UTILIZADA EN CADA ESQUEMA DE DISEÑO	OBSERVACIONES
SANDWICH	UNA CARA		LÁMINAS VOLÚMENES	
	DOS CARAS		PERFILES LÍQUIDOS	
COMPUESTO	FIBROSO		POLVOS GRANOS	
	PARTICULADO		LÍQUIDOS FIBRA	
MEZCLA POR FASES	MONOFÁSICA	X	POLVOS GRANOS LÍQUIDOS FIBRAS	La mezcla por fases se realizará para cada uno de los materiales seleccionados, usando en cada mezcla el yeso en fase líquida.
	POLIFÁSICA		LÁMINAS VOLÚMENES PERFILES	
SEGMENTO	UNA DIMENSIÓN		PERFILES	
	DOS DIMENSIONES		FIBRA	
	TRES DIMENSIONES		LÁMINAS	

LAMINADO	BICAPA		LÁMINAS	
	MULTICAPA		PELÍCULAS	
ENREJADO	RÍGIDO		FIBRA	
	FLEXIBLE		PERFILES	

**4.3 Etapa 3: Predicción del comportamiento de los materiales.**

Con base en los conocimientos teóricos de los materiales se busca que el diseñador identifique el comportamiento posible del material de forma teórica y práctica.

**4.3.1 Fase 1: Interpretar el comportamiento del material.**

En este caso de estudio, las propiedades que se deben predecir son las sensoriales, por tal motivo se debe revisar el paso 2 que sugiere la parte práctica de esta fase (Ver capítulo 4, página 171) y posteriormente diligenciar la tabla 7 donde de acuerdo al esquema de diseño seleccionado se eligen las posibles propiedades que puede obtener el material a diseñar.

Es importante saber que las propiedades seleccionadas la tabla 7 posiblemente van a diferir de las propiedades seleccionadas en la tabla 2. Esto se debe a que en la tabla 2 se recopila información de la funcionalidad deseada y en la tabla 7 se recopila información de la funcionalidad posible, la cual depende de las condiciones del contexto, la identificación formal de las materias primas, la selección de materiales y el esquema de diseño escogido.

Tabla 5: Funcionalidades sensoriales posibles de acuerdo al esquema de diseño seleccionado

COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DISEÑO SELECCIONADO	ESQUEMA DE DISEÑO DEL MATERIAL A DISEÑAR												
	COMPUESTO		SANDWICH		ENREJADO		SEGMENTO			LAMINADO		MEZCLAS POR FASES	
	PARICULADOS	FIBROSOS	UNA CARA	DOS CARAS	RÍGIDO	FLEXIBLE	UNA DIMENSIÓN	DOS DIMENSIONES	TRES DIMENSIONES	BICAPA	MULTICAPA	MONOFÁSICA	POLIFÁSICA
<b>PROPIEDADES VISUALES</b>													
<b>DIMENSIONAL</b>													
Unidimensional													
Bidimensional											X		
Tridimensional													
<b>ESTRUCTURAL</b>													
Homogéneo											X		
Heterogéneo													
Celular													
<b>APARIENCIA</b>													
Refractante													
Reflectante													
Transmisivo											X		
Absorbente													
<b>LUMINISCENCIA</b>													
Fosforescente													
Fluorescente													
<b>MATICES</b>													
Primarios													
Secundarios													
Intermedios													
Neutros											X		
<b>TONO</b>													
Claro											X		
Oscuro													
<b>SATURACIÓN</b>													
Alta													
Media											X		
Baja													

PROPIEDADES TÁCTILES												
TEXTURA												
Liso												X
Rugoso												
Punzante												
Cortante												
Suave												
DUREZA												
Rígido												X
Flexible												
FRICCIÓN												
Deslizante												X
Antideslizante												
HUMEDAD												
Seco												X
Húmedo												
TEMPERATURA												
Cálido												
Ambiente												
Frio												X
PESO												
Ligero												X
Denso												
PROPIEDADES OLFATIVAS												
AROMA												
Primarios												
Secundarios												
Terciarios												
Inoloro												
INTENSIDAD												
Alto												
Medio												
Bajo												
PROPIEDADES GUSTATIVAS												
SABOR												
Salado												
Dulce												
Acido (agrio)												
Amargo												
Picante												
Insaboro												
Metálico												

INTENSIDAD													
Alto													
Medio													
Bajo													
PROPIEDADES AUDITIVAS													
TONO													
Agudo													
Grave													
DURACIÓN													
Largo													
Corto													

**4.4 Etapa 4: Proceso de materialización**

El proceso de materialización es la fase experimental que permite dar forma al material.

**4.4.1 Fase 1: Establecer la presentación formal final del material**

De acuerdo a la prestación funcional requerida por el material a diseñar, se debe plantear la presentación que va a tener el material final, la cual obedecerá a la geometría, las dimensiones y los procesos de fabricación que se utilicen para obtener el material final. Dependiendo del proceso de fabricación varían las posibles formas del material a diseñar. En este estudio de caso las muestras se obtendrán a partir de técnicas experimentales y artesanales y por esta razón la tabla que se va a diligenciar es la número 9.

Tabla 6: Selección de la forma final del material a partir de técnicas experimentales y artesanales

SELECCIONAR EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE EL ESQUEMA DE DISEÑO SELECCIONADO	SELECCIONAR EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE LA FORMA FINAL DEL MATERIAL A DISEÑAR	DEFINIR LAS DIMENSIONES DE LA FORMA FINAL QUE VA A TENER EL MATERIAL A DISEÑAR
<b>SANDWICH</b> UNA CARA <input type="checkbox"/> DOS CARAS <input type="checkbox"/>	LÁMINAS	
	VOLÚMENES	
	PERFILES	
<b>COMPUESTO</b> FIBROSO <input type="checkbox"/> PARTICULADO <input type="checkbox"/>	LÁMINAS	
	VOLÚMENES	
	PERFILES	
<b>MEZCLA POR FASES</b> MONOFÁSICA <input checked="" type="checkbox"/> POLIFÁSICA <input type="checkbox"/>	LÁMINAS	X
	VOLÚMENES	
	PERFILES	
<b>10cmX10cmX1cm</b> <b>(Largo*Ancho*Espesor)</b>		
<b>SEGMENTO</b> UNA DIMENSIÓN <input type="checkbox"/> DOS DIMENSIONES <input type="checkbox"/> TRES DIMENSIONES <input type="checkbox"/>	LÁMINAS	
	VOLÚMENES	
	PERFILES	
<b>LAMINADO</b> BICAPA <input type="checkbox"/> MULTICAPA <input type="checkbox"/>	LÁMINAS	
	VOLÚMENES	
	PERFILES	
<b>ENREJADO</b> RÍGIDO <input type="checkbox"/> FLEXIBLE <input type="checkbox"/>	LÁMINAS	
	VOLÚMENES	
	PERFILES	

#### 4.4.2 Fase 2: Selección de procesos productivos

Tener un conocimiento teórico de las prestaciones y restricciones del procesamiento que tienen cada uno de los materiales utilizados en el diseño del material final.

Como se explicó previamente las técnicas de fabricación de las muestras para este estudio son experimentales y artesanales por ese motivo se continúa con la fase 3 de esta misma etapa (Obtención de muestras y regulación del proceso). Esto se sugiere en la parte práctica de la fase 2/ paso 3 de esta misma etapa (Ver capítulo 4, página 181).

#### 4.4.3 Fase 3: Obtención de muestras y regulación del proceso

A partir de los laboratorios de experimentación generar documentos que registren la forma de obtención de las muestras utilizando la técnica previamente seleccionada. El procedimiento que se expone a continuación está normalizado, lo que indica que las muestras que se obtengan siguiendo esta secuencia tendrán las mismas características. Después de tener el proceso normalizado se clasifican las muestras que serán utilizadas para la caracterización sensorial. Finalmente se realiza una ficha técnica por cada material diseñado donde se encuentra información relevante para el proceso de experimentación y de las características más notables de cada muestra obtenida. Las fichas técnicas se construyen bajo el criterio de cada diseñador.

- **Proceso de preparación de los moldes**



Ensamblar los moldes



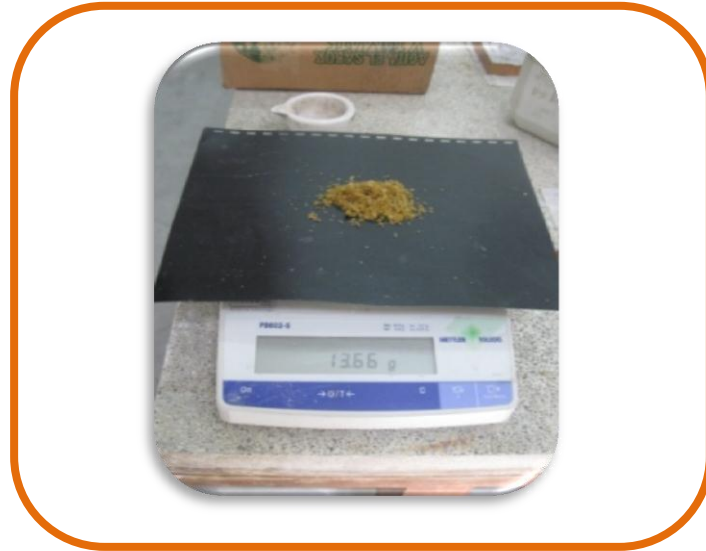
Aplicar vaselina blanca USP en los bordes internos de los moldes para facilitar el desmolde de las piezas

- **Proceso de preparación de las muestras con residuos sólidos embebidos homogéneamente con el yeso generando una mezcla monofásica**



Los residuos sólidos se ubican de forma que llenen el volumen total del molde

- **Proceso de tara del refuerzo**



Tarar el residuo sólido

- **Proceso de tara del yeso y el agua**



Pesar el yeso en la balanza electrónica



Pesar el agua en la balanza electrónica

- **Proceso de mezcla y vaciado**



Se mezcla el yeso con el agua hasta llegar al punto de colada del yeso. Posteriormente se adiciona el residuo sólido logrando mixtura homogénea



Vaciar la mezcla dentro del molde

- **Proceso de secado**



El tiempo de secado es de 24hrs a 48hrs a temperatura ambiente en una zona con buena ventilación.

Durante el proceso de obtención de las muestras se hizo un registro fotográfico con los estudiantes el cual se puede ver en las siguientes imágenes.



A continuación se muestran las fichas técnicas realizadas para cada muestra obtenida en la fase de experimentación.

DISEÑO DE MATERIALES CON RESIDUOS SÓLIDOS EMBEBIDOS HOMOGÉNEAMENTE CON EL YESO GENERANDO UNA MEZCLA MONOFÁSICA	
<b>UBICACIÓN DEL REFUERZO</b>	RESIDUOS SÓLIDOS EMBEBIDOS HOMOGÉNEAMENTE CON EL YESO GENERANDO UNA MEZCLA MONOFÁSICA
<b>NOMBRE DEL REFUERZO</b>	<b>Vidrio ámbar reciclado de 9.5µm</b>
<b>DIMENSIONES GENERALES DEL MOLDE</b>	<p style="text-align: right;">VISTA SUPERIOR</p> <p style="text-align: right;">VISTA FRONTAL</p>

IMÁGENES DE LAS MUESTRAS	
<b>Yeso crudo + refuerzo crudo</b>	

CANTIDADES			
MATERIAL MATRIZ	MARCA	REFERENCIA	DENSIDAD
Yeso	Corona	Maravilla	1,1 g/cm <sup>3</sup>
<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	V= 100cm <sup>3</sup>		
<b>MASA DEL YESO</b>	My= 110g		
<b>MASA DEL AGUA</b> (es el 65% de la masa del yeso)	Ma=71.5g		
<b>MASA DEL REFUERZO</b>	Mr=163,76g		
<b>MASA DE LA MUESTRA REFORZADA</b>	Pm=246,065g		

DISEÑO DE MATERIALES CON RESIDUOS SÓLIDOS EMBEBIDOS HOMOGÉNEAMENTE CON EL YESO GENERANDO UNA MEZCLA MONOFÁSICA	
<b>UBICACIÓN DEL REFUERZO</b>	RESIDUOS SÓLIDOS EMBEBIDOS HOMOGÉNEAMENTE CON EL YESO GENERANDO UNA MEZCLA MONOFÁSICA
<b>NOMBRE DEL REFUERZO</b>	<b>Viruta de madera reciclada</b>
<b>DIMENSIONES GENERALES DEL MOLDE</b>	<p style="text-align: right;">VISTA SUPERIOR</p> <p style="text-align: right;">VISTA FRONTAL</p>

IMÁGENES DE LAS MUESTRAS	
<b>Yeso crudo + refuerzo crudo</b>	

CANTIDADES			
MATERIAL MATRIZ	MARCA	REFERENCIA	DENSIDAD
Yeso	Corona	Maravilla	1,1 g/cm <sup>3</sup>
<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	V= 100cm <sup>3</sup>		
<b>MASA DEL YESO</b>	My= 110g		
<b>MASA DEL AGUA</b> (es el 65% de la masa del yeso)	Ma=71.5g		
<b>MASA DEL REFUERZO</b>	Mr=14,261g		
<b>PESO DE LA MUESTRA REFORZADA</b>	Pm=122,841g		

DISEÑO DE MATERIALES CON RESIDUOS SÓLIDOS EMBEBIDOS HOMOGÉNEAMENTE CON EL YESO GENERANDO UNA MEZCLA MONOFÁSICA	
<b>UBICACIÓN DEL REFUERZO</b>	RESIDUOS SÓLIDOS EMBEBIDOS HOMOGÉNEAMENTE CON EL YESO GENERANDO UNA MEZCLA MONOFÁSICA
<b>NOMBRE DEL REFUERZO</b>	<b>Viruta de Nylon Amarillo reciclado</b>
<b>DIMENSIONES GENERALES DEL MOLDE</b>	<p style="text-align: right;">VISTA SUPERIOR</p> <p style="text-align: right;">VISTA FRONTAL</p>

IMÁGENES DE LAS MUESTRAS	
<b>Yeso crudo + refuerzo crudo</b>	

CANTIDADES			
MATERIAL MATRIZ	MARCA	REFERENCIA	DENSIDAD
Yeso	Corona	Maravilla	1,1 g/cm <sup>3</sup>
<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	V= 100cm <sup>3</sup>		
<b>MASA DEL YESO</b>	My= 110g		
<b>MASA DEL AGUA</b> (es el 65% de la masa del yeso)	Ma=71.5g		
<b>MASA DEL REFUERZO</b>	Mr=11.8g		
<b>MASA DE LA MUESTRA REFORZADA</b>	Mm=115,71g		

DISEÑO DE MATERIALES CON RESIDUOS SÓLIDOS EMBEBIDOS HOMOGÉNEAMENTE CON EL YESO GENERANDO UNA MEZCLA MONOFÁSICA	
<b>UBICACIÓN DEL REFUERZO</b>	RESIDUOS SÓLIDOS EMBEBIDOS HOMOGÉNEAMENTE CON EL YESO GENERANDO UNA MEZCLA MONOFÁSICA
<b>NOMBRE DEL REFUERZO</b>	<b>Vidrio templado reciclado de 9.5µm</b>
<b>DIMENSIONES GENERALES DEL MOLDE</b>	<p>The drawing shows two views of a rectangular mold. The top view (VISTA SUPERIOR) is a rectangle with a height of 11.8cm and a width of 10cm. It features a central square area with a side length of 10cm, surrounded by a border that is 0.9cm thick. The front view (VISTA FRONTAL) shows a rectangle with a height of 1cm and a width of 11.8cm.</p>

IMÁGENES DE LAS MUESTRAS	
<b>Yeso crudo + refuerzo crudo</b>	<p>Two square photographs showing a white, granular material (raw gypsum) mixed with small, dark, irregular fragments of reinforcement material.</p>

CANTIDADES			
MATERIAL MATRIZ	MARCA	REFERENCIA	DENSIDAD
Yeso	Corona	Maravilla	1,1 g/cm <sup>3</sup>
<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	V= 100cm <sup>3</sup>		
<b>MASA DEL YESO</b>	My= 110g		
<b>MASA DEL AGUA</b> (es el 65% de la masa del yeso)	Ma=71.5g		
<b>MASA DEL REFUERZO</b>	Mr=134.88g		
<b>MASA DE LA MUESTRA REFORZADA</b>	Mm=184,66g		





#### 4.5 Etapa 5: Caracterización del material

En esta etapa, se identifican las características sensoriales que tiene el material diseñado y se comprueba su óptimo desempeño funcional.

##### 4.5.1 Fase 1: Identificación de las técnicas de caracterización

Identificar las herramientas que existen para la caracterización de materiales y seleccionar las más apropiadas para el estudio del material obtenido. Para esto se deben retomar las propiedades sensoriales seleccionadas en la tabla 7 y utilizar los procedimientos de caracterización que se sugieren en el capítulo 3 de esta investigación “Los sentidos en la materialidad”. Previo a esto se debe recopilar información significativa relacionada con el proceso de caracterización (Ver tabla 12).

Tabla 7: Información requerida para la caracterización de las propiedades sensoriales

INDICAR LAS FUNCIONALIDADES SENSORIALES POSIBLES QUE SERÁN CARACTERIZADAS		INDICAR EL TIPO DE RECURSO QUE SE UTILIZARÁ PARA LA CARACTERIZACIÓN			DESCRIBIR LA GEOMETRÍA DE LAS PROBETAS PARA LA CARACTERIZACIÓN	
CATEGORÍA	NIVEL	RECURSO HUMANO	RECURSO DOCUMENTAL	RECURSO TÉCNICO	DIMENSIONES	IMAGEN
Dimensional	Bidimensional	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 1) *Encuesta para caracterizar las muestras	*Flexómetro. Para obtener las dimensiones del material	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
Estructural	Homogéneo	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 2) *Encuesta para caracterizar las muestras	*No requiere instrumentos técnicos.	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
Apariencia	Transmisivo	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 3) *Encuesta para caracterizar las muestras	*Linterna. Para observar el comportamiento en la superficie del material ante un rayo de luz externo.	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
Matices	Neutros	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 6) *Encuesta para caracterizar las muestras	*Tabla Pantone para comparar los matices de la superficie del material.	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
Tono	Claro	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 7) *Encuesta para caracterizar las muestras	*Tabla Pantone para comparar los tonos de la superficie del material.	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	

<b>Saturación</b>	<b>Media</b>	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 8) *Encuesta para caracterizar las muestras	*Tabla Pantone para comparar los matices de la superficie del material.	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
<b>Textura</b>	<b>Liso</b>	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 9) *Encuesta para caracterizar las muestras	*Lijas de agua para comparar la rugosidad de la superficie del material.  <b>CORTANTE</b> Lija 40-50 <b>PUNZANTE</b> Lija 60-80 <b>RUGOSO</b> Lija 100-120 <b>LISO</b> Lija 150-180 <b>SUAVE</b> Lija 240-400	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
<b>Fricción</b>	<b>Deslizante</b>	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 11) *Encuesta para caracterizar las muestras	*Lijas de agua para comparar la fricción de la superficie del material.  <b>DESILIZANTE</b> Lija 150 - 400 <b>ANTI-DESILIZANTE</b> Lija 40 - 120	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
<b>Dureza</b>	<b>Rígido</b>	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 10) *Encuesta para caracterizar las muestras	*No requiere instrumentos técnicos.	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
<b>Humedad</b>	<b>Seco</b>	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 12) *Encuesta para caracterizar las muestras	*No requiere instrumentos técnicos.	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
<b>Temperatura</b>	<b>Frío</b>	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 13) *Encuesta para caracterizar las muestras	*No requiere instrumentos técnicos.	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	
<b>Peso</b>	<b>Ligero</b>	Estudiantes de Diseño Industrial que hayan cursado la asignatura de materiales	*Capítulo 3 de esta investigación (Ver tabla 14) *Encuesta para caracterizar las muestras	*Balanza electrónica para pesar cada muestra del material obtenido.	10cm*10cm*1cm (Largo*Ancho*Espesor)	

- **Proceso de caracterización de las muestras**
- Una vez la información de la tabla 12 estaba diligenciada, se procedió a la caracterización del material obtenido. Para la caracterización sensorial cada muestra fue sometida a una exploración, donde los estudiantes estaban en contacto con ellas por un tiempo aproximado dos minutos.
- Durante la exploración, los estudiantes hacían simultáneamente una revisión de la tabla 2 (Ver página 195) y la tabla 7 (Ver página 202), donde habían recopilado previamente la información de la funcionalidad deseada y la funcionalidad posible del material a diseñar.
- A cada estudiante se le entregó de forma impresa la tabla 13 (Ver Capítulo 4/ página186) donde logró describir la comparación percibida entre la funcionalidad deseada y la funcionalidad posible, para finalmente determinar la funcionalidad real, la cual es la que se obtiene después del proceso de fabricación y caracterización de las muestras.
- Después del proceso de caracterización, la información entregada por los estudiantes es analizada estadísticamente y los resultados se muestran en la tabla 13 (Ver página 220)

Durante el proceso de caracterización de las muestras se hizo un registro fotográfico con los estudiantes el cual se puede ver en las siguientes imágenes.





Tabla 8: Análisis comparativo entre las funcionalidades posibles y las funcionalidades reales

PROPIEDADES SENSORIALES								
PROPIEDADES VISUALES								
TIPO	CATEGORÍA	NIVEL	FUNCIONALIDADES DESEADAS DEL MATERIAL A DISEÑAR (VER TABLA 2)			FUNCIONALIDADES POSIBLES DEL MATERIAL A DISEÑAR (VER TABLA 7)	FUNCIONALIDADES REALES DEL MATERIAL DISEÑADO	OBSERVACIONES
APARIENCIA FORMAL	DIMENSIONAL	Unidimensional						coinciden
		Bidimensional	X			X	X	
		Tridimensional						
	ESTRUCTURAL	Homogéneo	X			X		No coinciden
		Heterogéneo					X	
		Celular						
APARIENCIA LUMÍNICA	APARIENCIA	Refractante	A	M	B			No coinciden
		Reflectante	A	M	B			
		Transmisivo	A	M	B	X		
		Absorbente	A	M	B		X	
	LUMINISCENCIA	Fosforescente						
		Fluorescente						
CROMÁTICA	MATICES	Primarios						Coinciden
		Secundarios						
		Intermedios						
		Neutros	X			X	X	

	<b>TONO</b>	Claro		X	X	No coinciden		
		Oscuro	X					
	<b>SATURACIÓN</b>	Alta	X			No coinciden		
		Media		X				
		Baja			X			
<b>PROPIEDADES TÁCTILES</b>								
<b>CONDICIÓN SUPERFICIAL</b>	<b>TEXTURA</b>	Liso	X			No coinciden		
		Rugoso		X	X			
		Punzante						
		Cortante						
		Suave						
	<b>DUREZA</b>	Rígido	A	M	B	X	X	Coinciden
		Flexible	A	M	B			
	<b>FRICCIÓN</b>	Deslizante	X			X		No coinciden
		Antideslizante					X	
	<b>HUMEDAD</b>	Seco	X			X	X	Coinciden
		Húmedo						
<b>TEMPERATURA</b>	<b>TEMPERATURA</b>	Cálido						No coinciden
		Ambiente						
		Frio				X	X	

PESO	PESO	Ligero	X				No coincide
		Denso		X	X		
PROPIEDADES OLFATIVAS							
AROMA	AROMA	Primarios					
		Secundarios					
		Terciarios					
		Inoloro					
INTENSIDAD	INTENSIDAD	Alto					
		Medio					
		Bajo					
PROPIEDADES GUSTATIVAS							
SABOR	SABOR	Salado					
		Dulce					
		Ácido (Agrio)					
		Amargo					
		Insaboro					
		Metálico					
INTENSIDAD	INTENSIDAD	Alto					
		Medio					
		Bajo					
PROPIEDADES AUDITIVAS							
SONIDO	TONO	Agudo	A	M	B		
		Grave	A	M	B		

	<b>DURACIÓN</b>	Largo	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>B</b>			
		Corto	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>B</b>			

**Fase 2: Resultados y discusión.**

Se realiza un análisis comparativo de la información recopilada en la tabla 13 para determinar si se cumple con las necesidades funcionales planteadas para el material diseñado.

**Resultados de la caracterización sensorial de las muestras obtenidas con residuos sólidos embebidos homogéneamente con el yeso generando una mezcla monofásica**

El esquema de diseño seleccionado para la fabricación de las muestras fue la mezcla monofásica, donde se esperaban obtener muestras homogéneas y lisas; sin embargo en este caso no se logró obtener ese resultado ya que por motivos de distribución de los elementos al interior de la mezcla, la agregación de partículas hizo que no se embebieran por completo en el yeso, por lo que lograron sobresalir en la superficie de la muestra. Por lo que finalmente se consiguieron muestras de textura rugosa, antideslizante y con una estructura heterogénea. Este resultado se observó para las muestras realizadas con todos los residuos sólidos condicionados por el contexto medio ambiental.

Para el diseño del material bajo el esquema de mezcla monofásica se utilizó el yeso en su estado líquido (mezcla de agua y yeso) para generar un embebido con los residuos sólidos. Al secarse el yeso a temperatura ambiente, temperatura condicionada por la tecnología, se consiguieron muestras con una rigidez de origen cerámico, lo que coincide con una rigidez alta tal y como se planteó en la funcionalidad sensorial deseada y posible. Este resultado se observó para las muestras realizadas con los residuos sólidos condicionados por el contexto medio ambiental. Esto indica que el tipo de materiales usados como relleno no afectaron la temperatura de secado y la dureza del yeso.

En las funcionalidades deseadas se escogió una apariencia reflectiva y un tono oscuro para el material a diseñar, lo cual no fue obtenido por varias razones. Una de ellas es que el yeso después de estar en fase líquida, al secarse adquiere una apariencia opaca, por lo que la incidencia de una luz externa no se refleja y como se explicó anteriormente la superficie de las muestras obtenidas fueron rugosas. Finalmente la rugosidad sumada a la opacidad que presenta el yeso, genera muestras con una apariencia absorbente. El matiz de la materia prima del yeso es blanco y al preparar la mezcla monofásica se espera que la superficie del material diseñado adquiera las características del material utilizado en fase líquida (Yeso), por lo cual las muestras obtenidas tienen matices neutros (blanco), de tonalidad clara y saturación baja.

Después de obtener cada una de las muestras se comparan entre ellas para determinar cuál es la que presentaba más ligereza. Entre Las muestras obtenidas a partir del vidrio ámbar reciclado de 9.5 $\mu\text{m}$ , la viruta de madera reciclada, la viruta de poliamida reciclada y el vidrio templado reciclado de 9.5 $\mu\text{m}$ , se determina que la muestra más liviana es la que se obtiene con viruta de poliamida reciclada. Por esta razón se debe tener en cuenta el peso de los residuos sólidos que se van a utilizar para la preparación de la mezcla monofásica, especialmente el de los vidrios, los cuales comparativamente fueron los más densos.

Si bien dentro del caso de estudio existen aparentes incongruencias en la relación con los atributos seleccionados, esto se debe a que los primeros estándares de selección parten de las necesidades y posterior a eso se comienza a hacer uso de la metodología, para comprobar la factibilidad de obtener estas características. Esto explica por qué las muestras finales tienen una temperatura fría

y no cálida como se deseaba inicialmente, pues siendo el yeso de origen cerámico, las bajas temperaturas van ser las que se perciban al entrar en tacto con la superficie del material.

## CONCLUSIONES

- Se obtiene como resultado final de este proyecto de investigación una metodología para el diseño de materiales que permite controlar el desempeño de los atributos técnicos y sensoriales de los materiales.
- La metodología que se obtiene en este proyecto de investigación presenta de cada una de las etapas que se requieren para llegar a la muestra física del material que se esté diseñando bajo los lineamientos planteados en la metodología.
- El modelo de la metodología se comprueba a partir de un caso de estudio que permite estandarizar cada una de las etapas para el diseño de materiales.

## COMENTARIOS FINALES

- La metodología planteada pretende adaptarse a las necesidades o a los requerimientos que el diseñador considere como punto de partida para la síntesis del material. Por esa razón la metodología es genérica y tiene como objeto dar pautas claves en el proceso experimental.
- La metodología descrita teóricamente no es suficiente. Para el uso de la metodología el diseñador debe realizar de forma paralela una fase experimental con un trabajo de laboratorio que le de las herramientas básicas para identificar las variables que se puedan presentar en el proceso.
- La metodología para el diseño de materiales se puede adaptar a diversas disciplinas, lo que indica que un profesional del área creativa o un profesional del área de la ciencias y la ingeniería consiguen hacer uso de ella, teniendo en cuenta que para cada fase se deben tener unos conceptos previos, los cuales son referenciados y descritos en esta investigación.
- La propuesta metodológica compila las necesidades y los requerimientos que se deben tener en cuenta al diseñar un material que básicamente son tres: forma, proceso productivo y material base.
- Se observó en el caso de estudio que con un soporte teórico sobre la ciencia de los materiales, tablas de información y matrices de evaluación que apoyen la metodología, el diseñador estará en capacidad de crear y transformar materias primas existentes en materiales con nuevas funciones y prestaciones.
- Inicialmente la metodología se validó con un grupo de estudiantes con la compañía de un guía. Se espera que en un futuro los diseñadores la aborden de una forma autónoma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cazabonne, C. (26 de 05 de 2009). *La jornada*. Recuperado el 05 de 09 de 2011, de <http://diario.lajornadanet.com/archivo/2009/mayo/26/11.html>
- González Estévez, A. (s.f.). *MARDUK Astronomía*. Recuperado el 30 de 08 de 2011, de [http://www.pawean.com/MVM/luz\\_espectro.html](http://www.pawean.com/MVM/luz_espectro.html)
- Karana, E., Hekkert, P., & Kandachar, P. (1 de Marzo de 2008). Material considerations in product design: a survey on crucial material aspects used by product designers. *Materials & Design*, 1081-1089.
- Ljungberg, L. (2003). Materials selection and design for structural polymers. *Materials & design*, 383-390.
- Propiedades del color*. (2002). Recuperado el 13 de 09 de 2011, de <http://mimosa.pntic.mec.es/~erodri22/propieda.htm>
- Textos científicos*. (2006). Recuperado el 30 de 08 de 2011, de <http://www.textoscientificos.com/quimica/inorganica/enlace-ionico/estructura-metales>
- ASIFUNCIONA*. (2007). Recuperado el 17 de 08 de 2011, de [http://www.asifunciona.com/tablas/intensidad\\_sonidos/intensidad\\_sonidos.htm](http://www.asifunciona.com/tablas/intensidad_sonidos/intensidad_sonidos.htm)
- Reactividad química*. (2007). Recuperado el 14 de 10 de 2011, de <http://es.scribd.com/doc/16648887/reactividad-quimica>
- El círculo cromático*. (2008). Recuperado el 13 de 09 de 2011, de <http://comunicacionpoderpunto.blogia.com/2007/080308-el-circulo-cromatico.php>
- Historia natural*. (2008). Recuperado el 30 de 08 de 2011, de <http://www.historianatural.net/inform.php?t=20080314125414>
- Absorción acústica*. (2009). Recuperado el 05 de 09 de 2011, de [http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/\(9\)%20Control%20por%20absorcion/absorcion%20acustica.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/(9)%20Control%20por%20absorcion/absorcion%20acustica.htm)
- Aroma y olor*. (2010). Recuperado el 04 de 09 de 2011, de Biblioteca digital de la universidad de Chile: [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/wittinge01/capitulo01/03.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/wittinge01/capitulo01/03.html)
- Rélicas metalográficas*. (2010). Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://www.mailxmail.com/curso-replicas-metalograficas-2/alcance-tecnica-4>
- Sensación y percepción*. (2010). Recuperado el 03 de 09 de 2011, de <http://sensacion-percepcion.blogspot.com/2010/03/el-tacto.html>
- Tecnología de polímeros*. (2010). Recuperado el 04 de 09 de 2011, de Universidad de Alcalá: [https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP\\_EPD/PD-GP-MA-ASIG/PD-GP-ASIG-66329/TAB42351/praclabo.htm](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PD-GP-MA-ASIG/PD-GP-ASIG-66329/TAB42351/praclabo.htm)
- 123RF*. (2011). Recuperado el 13 de 09 de 2011, de Ondas de agua azul con la reflexión de la luz del sol : [http://es.123rf.com/photo\\_3660448\\_ondas-de-agua-azul-con-la-reflexi-n-de-la-luz-del-sol.html](http://es.123rf.com/photo_3660448_ondas-de-agua-azul-con-la-reflexi-n-de-la-luz-del-sol.html)
- Biomecánica de tejidos dentales*. (2011). Recuperado el 15 de 10 de 2011, de <http://odontologiacosasde.blogspot.com/2011/05/biomecanica-de-materiales-dentales.html>
- Can Stock Photo*. (2011). Recuperado el 02 de 09 de 2011, de <http://www.canstockphoto.es/rojo-caliente-abrasador-carbones-3645772.html>
- Cristal polarizador*. (27 de 03 de 2011). Recuperado el 13 de 09 de 2011, de <http://cristalpolarizador.blogspot.com/2011/03/invisibilidad.html>

- Definición.de.* (5 de 08 de 2011). Recuperado el 7 de 08 de 2011, de Definición.de:  
<http://definicion.de/color/>
- Lenntech.* (2011). Recuperado el 10 de 08 de 2011, de <http://www.lenntech.es/olor.htm>
- MedlinePlus.* (02 de 08 de 2011). Recuperado el 28 de 08 de 2011, de  
[http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp\\_imagepages/1094.htm](http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp_imagepages/1094.htm)
- Niobio.* (2011). Recuperado el 10 de 10 de 2011, de  
<http://www.uam.es/docencia/elementos/spV21/conmarcos/elementos/nb.html>
- Propiedades ópticas de los materiales.* (2011). Recuperado el 30 de 08 de 2011, de  
<http://cbe.ivic.ve/mic250/pdf/opticas.PDF>
- Reactividad química y reacciones orgánicas.* (2011). Recuperado el 14 de 10 de 2011, de  
<http://www.uhu.es/quimiorg/docencia/textos/TEMA2.pdf>
- Soluciones.* (2011). Recuperado el 14 de 10 de 2011, de  
[http://www.cespro.com/Materias/MatContenidos/Contquimica/QUIMICA\\_INORGANICA/soluciones.htm](http://www.cespro.com/Materias/MatContenidos/Contquimica/QUIMICA_INORGANICA/soluciones.htm)
- Acero González, M. (28 de 11 de 2010). *División de ciencias y artes para el diseño. Sistemas de diseño.* Recuperado el 04 de 09 de 2011, de  
[http://michelleacero.blogspot.com/2010\\_11\\_01\\_archive.html](http://michelleacero.blogspot.com/2010_11_01_archive.html)
- Aceros aleados.* (s.f.). Recuperado el 22 de 01 de 2011, de  
[http://www.utp.edu.co/~publio17/ac\\_aleados.htm](http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_aleados.htm)
- Amadine, A. (19 de 08 de 2010). *RGB Vs CMYK.* Recuperado el 13 de 09 de 2011, de EduMac:  
<http://edumac.com.mx/blog/rgb-vs-cmyk>
- Anta Keme. (23 de 01 de 2011). *Los sentidos.* Recuperado el 05 de 09 de 2011, de  
[http://antakeme.blogspot.com/2011\\_01\\_23\\_archive.html](http://antakeme.blogspot.com/2011_01_23_archive.html)
- Armstrong. (2011). *Armstron.* Recuperado el 16 de 10 de 2011, de  
<http://www.armstrong.es/commdlgeu/eu1/es/es/performance-acoustics.html>
- Arnold, M. (1970). *Emoción y personalidad.* Buenos Aires: Lozada.
- Arqhys. Arquitectura. (2010). *Acero inoxidable lámina.* Recuperado el 10 de 10 de 2011, de  
<http://www.arqhys.com/fotos/acero-inoxidable-lamina.html>
- Ashby, M. (2000). Multi-objective optimization in material design and selection. *ACTA MATERIALIA*, 359-369.
- Ashby, M. (2005). Designing hybrid materials. En M. Ashby, *Materials selection in Mechanical Design* (págs. 339-376). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Ashby, M. (2005). *Materials selection in mechanical design.* Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Ashby, M. (2005). *Materials Selection in Mechanical Design.* Oxford: Butterworth Heinemann.
- Ashby, M., & Bréchet, Y. (2003). Designing hybrid materials. *Acta Materialia*, 5801-5821.
- Ashby, M., & Johnson, K. (2002). *Materials and Design. The Art and Science of Material. Selection in Product Design.* Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Ashby, M., Shercliff, H., & Cebon, D. (2007). *Materials. Engineering, Science, Processing and Design.* Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Askeland, D., & Phulé, P. (2003). *Ciencia e ingeniería de los materiales.* Mexico: Thomson.
- AV Center. (2010). *Material absorbente acústico.* Recuperado el 05 de 09 de 2011, de  
[http://www.avcenter.com.ar/global/detail.php?id\\_categoria=20&id\\_object=458&object=1](http://www.avcenter.com.ar/global/detail.php?id_categoria=20&id_object=458&object=1)
- Azócar, F. (28 de 08 de 2009). *Reciclaje.* Recuperado el 03 de 09 de 2011, de  
<http://francoazocar.blogspot.com/>
- Bedolla Pereda, D. (2002). Diseño Sensorial. Las nuevas pautas para la innovación, especialización y personalización del producto. Barcelona.
- Biblioteca digital de la Universidad de Chile. (2010). *Molibdeno, tecnología de obtención.* Recuperado el 10 de 10 de 2011, de

- [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/gonzalez\\_a01/capitulo2/07.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/gonzalez_a01/capitulo2/07.html)
- Biblioteca digital de la Universidad de Chile. (s.f.). Recuperado el 14 de 08 de 2011, de [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/wittinge01/capitulo01/03.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/wittinge01/capitulo01/03.html)
- Braun, E. (1997). *El saber y los sentidos*. Recuperado el 10 de 08 de 2011, de <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/073/htm/elsaber.htm>
- BYG. (2009). *Cómo evitar la aparición de fisuras en revestimientos cerámicos*. Recuperado el 11 de 10 de 2011, de <http://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/36108-Como-evitar-la-aparicion-de-fisuras-en-revestimientos-ceramicos.html>
- Castro, M., Rios, R., & Puértolas, J. (14 de 06 de 2011). *Ingeniería de superficies. La piel de los materiales*. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de [http://www.heraldo.es/noticias/suplementos/tercer\\_milenio/ingenieria\\_superficie\\_piel\\_los\\_materiales.html](http://www.heraldo.es/noticias/suplementos/tercer_milenio/ingenieria_superficie_piel_los_materiales.html)
- CEDEX. (2009). *Centro de estudios y experimentación de obras públicas*. Recuperado el 17 de 08 de 2011, de <http://www.cedex.es/egra/>
- Charrier, J.-M. (1987). *Polimeric materials and processing*. New York: Oxford University Press.
- Ciencias de la tierra y del medio ambiente. (2011). *Metales tóxicos*. Recuperado el 14 de 10 de 2011, de <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/09ProdQui/120MetTox.htm>
- Day, M. (2003). *Visionlearning*. Recuperado el 09 de 08 de 2011, de [http://www.visionlearning.com/library/module\\_viewer.php?mid=48&l=s](http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=48&l=s)
- Definición.de. (s.f.). Recuperado el 09 de 08 de 2011, de <http://definicion.de/peso/>
- Definición.de. (2011). *Definición.de*. Recuperado el 14 de 10 de 2011, de <http://definicion.de/toxicidad/>
- Deng, Y., & Edwards, K. (9 de Febrero de 2005). The role of materials identification and selection in engineering design. *Materials & Design*, 131-139.
- Diagnostico.com. (s.f.). Recuperado el 14 de 08 de 2011, de <http://www.diagnostico.com/ENT/Nariz.stm>
- diclib. (2011). *diclib*. Recuperado el 14 de 10 de 2011, de [http://www.diclib.com/Acondicionamiento%20ac%C3%BAstico%20/show/en/es\\_wiki\\_10/A/6764/600/0/11/71171](http://www.diclib.com/Acondicionamiento%20ac%C3%BAstico%20/show/en/es_wiki_10/A/6764/600/0/11/71171)
- Diseño mecánico. (s.f.). Recuperado el 22 de 01 de 2011, de <http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials2.html>
- Dreamstime. (2011). Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://www.dreamstime.com/leader-image1070210>
- Dym, J. (1983). *Product design with plastics, a practical manual*. Nueva York: Industrial Press.
- El cuerpo humano. (2011). *El sentido del gusto*. Recuperado el 05 de 09 de 2011, de <http://1.bp.blogspot.com/-rwhGMEvEx00/TdFDVKJF8KI/AAAAAAAAAF1o/CXgoFR6-aKk/s1600/10.gif>
- El por qué del efecto óptico*. (s.f.). Recuperado el 30 de 08 de 2011, de <http://www.sabercurioso.com/tag/ojo/page/2/>
- El portal de la ciencia y la tecnología. (2010). Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://www.solociencia.com/quimica/06122101.htm>
- Elert, G. (2011). Recuperado el 30 de 08 de 2011, de [http://translate.googleusercontent.com/translate\\_c?hl=es&langpair=en%7Ces&rurl=transl](http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=es&langpair=en%7Ces&rurl=transl)

- ate.google.com.co&twu=1&u=http://physics.info/light/&usg=ALkJrh5BT50NX2i9bG0n8NL72pKYtZo5w
- Embelezia. (2009). *Embelezia*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://www.embelezia.com/eventos/mauboussin-tira-la-joyeria-por-la-ventana-en-giza-japon>
- Ensayo de dureza. (2011). *Ensayo de dureza*. Recuperado el 14 de 10 de 2011, de <http://tecnolowikia.wikispaces.com/Ensayo+Dureza+Vickers>
- Ensayo de tracción en metales. (2011). *Ensayo de tracción en metales*. Recuperado el 15 de 10 de 2011, de <http://www.plusformacion.com/Recursos/r/Ensayo-traccion-metales>
- Ermolaeva, N., Kaveline, K., & Spoomaker, J. (2002). Materials selection combined with optimal structural design: concept and some results. *Materials & Design*, 459-470.
- Escuela de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile. (2010). *Anatomía nasal*. Recuperado el 05 de 09 de 2011, de <http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/apuntesotorrino/AnatomiaNasal.html>
- Esfuerzos en las estructuras. (2011). Recuperado el 14 de 10 de 2011, de <http://www.iesalquibla.net/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>
- Espucolor. (s.f.). Recuperado el 02 de 02 de 2011, de <http://www.espucolor.com.ar/fuo%20Vs.%20Fluorecsente.htm>
- Estructura de los materiales. (2010). *Química*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://qumica1deestructuradelosmateriales.blogspot.com/>
- Fabricación de piezas cerámicas*. (s.f.). Recuperado el 30 de 01 de 2011, de [http://sifunpro.tripod.com/piezas\\_ceramicas.htm](http://sifunpro.tripod.com/piezas_ceramicas.htm)
- Fibra óptica*. (s.f.). Recuperado el 13 de 09 de 2011
- Fina Garcia. (2010). *Fina Garcia*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de [http://www.finagarcia.com/ficha\\_int.php?op=&menu=1&tipo=63&id=3098&pagina\\_fitxa=6](http://www.finagarcia.com/ficha_int.php?op=&menu=1&tipo=63&id=3098&pagina_fitxa=6)
- Fisicanet. (2007). *Magnetismo*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/magnetismo/ap01\\_campo\\_magnetico.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/magnetismo/ap01_campo_magnetico.php)
- Framatex. (2011). *Framatex*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de <http://www.tallerdeserigrafia.com.ar/color.htm>
- Gallo, A. (14 de 11 de 2010). *Optica*. Recuperado el 13 de 09 de 2011, de [http://optica11.blogspot.com/2010/11/refraccion-y-reflexion-de-la-luz\\_14.html](http://optica11.blogspot.com/2010/11/refraccion-y-reflexion-de-la-luz_14.html)
- García, M. (2009). *La minería en las Villuercas, Ibores y Jara*. Recuperado el 02 de 09 de 2011, de [http://mineriavilluercasiboresjara.blogspot.com/2009\\_11\\_01\\_archive.html](http://mineriavilluercasiboresjara.blogspot.com/2009_11_01_archive.html)
- García, R. (1995). *pequeño Larousse ilustrado*. Buenos Aires: Larousse.
- García, R. M. (s.f.). *Explorando el mundo de la visión*. Recuperado el 30 de 08 de 2011, de <http://rosavision.blogspot.com/2008/06/un-poquito-de-anatoma-ocular-bsica-la.html>
- Generalitat Valenciana. (2009). *Institut Valencià de Conservació i Restauració de Bens Culturals*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://www.ivcr.es/1-castellano/ivcr-vitreos.htm>
- Gluck, P. (2011). *A simple method to measure the refractive index of a liquid*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de <http://vicente1064.blogspot.com/2011/06/metodo-simple-para-medir-el-indice-de.html>
- Granta . (2011). *Granta. Teaching resources for materials education*. Recuperado el 02 de 10 de 2011, de <http://www.grantadesign.com/education/>
- Granta. (2011). *Granta Material Inspiration*. Recuperado el 28 de 08 de 2011, de <http://www.grantadesign.com/education/content.htm>
- Granta Design. (2010). *CES EDUPACK 2010*. Recuperado el 24 de OCTUBRE de 2010, de <http://www.grantadesign.com/download/pdf/EduPack-Overview-ES.pdf>

- Groover, M. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna*. Naucalpan de México: Prentice-Hall.
- Hermida, E. (2008). Módulo de materiales poliméricos.
- Herrera, S., Barreto, A., Torres, I., & R. de Clavijo, E. (1980). *Química. Átomos, moléculas y reacciones*. Bogotá: Norma.
- Hisbabodas . (2011). *Hisbabodas*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://joyerias-y-anillos.hispabodas.com/fotos-anillos-de-boda-con-diamantes/14126>
- Hurbult, C., & Switzer, G. (1980). *Gemología*. Barcelona: Omega.
- IBERISA. (2001). *Análisis y optimización por Elementos Finitos para cualquier sistema CAD*. Recuperado el 24 de Octubre de 2010, de <http://www.iberisa.com/>
- IDES. (s.f.). Recuperado el 15 de 02 de 2011, de THE PLASTICS WEB: <http://www.ides.com/info/generics/54/Thermoplastic-Polyurethane-TPU>
- IES Villalba Hervás. (s.f.). Recuperado el 24 de 01 de 2011, de <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/10/clasificacion-de-los-metales-no-ferrosos.pdf>
- InfoAcero. (s.f.). Recuperado el 21 de 01 de 2011, de [http://www.infoacero.cl/acero/que\\_es.htm](http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm)
- Instron. (2011). *Resistencia a la compresión*. Recuperado el 15 de 10 de 2011, de <http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Compressive-Strength.aspx>
- Iñiguez Sasso, R. (s.f.). *Fisiología del oído*. Recuperado el 05 de 09 de 2011, de <http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/Otorrino/Fisiologia.html>
- Jabal, J. (1981). *Anatomía y Fisiología*. Barcelona: Cultural, S.A. de ediciones.
- Joyas Esotéricas. (2009). *Jotas esotéricas*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de [http://www.joyasesotericas.com/fiche1116\\_atlante-oro-verde-y-plata\\_esoteric.html](http://www.joyasesotericas.com/fiche1116_atlante-oro-verde-y-plata_esoteric.html)
- Karana, E. (2010). How do materials obtain their meanings. *METU JFA*, 271-285.
- Karana, E., & Hekkert, P. (2010). User-Material-Product Interrelationships in Attributing Meanings. *International journal of design*, 43-52.
- Karana, E., Hekkert, P., & Kandachar, P. (2009). Meanings of materials through sensorial properties and manufacturing processes. *Materials and Design*, 2778-2784.
- Kaufman, P. L., & Alm, A. (2004). *Fisiología del ojo. Aplicación clínica*. Madrid: Elsevier.
- Kubat, J., & Klason, C. (1995). *Plaster—materialval och materialdata*. Estocolmo: Förlags AB Industrilitteratur.
- La transición vítrea. (1997). *La transición vítrea*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de <http://pslc.ws/spanish/tg.htm>
- Leteri, C. (2008). *Así se hace: Técnicas de fabricación para diseño de producto*. Barcelona: Blume.
- Lenntech. (s.f.). Recuperado el 26 de 01 de 2011, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm>
- Lindemann, B. (2000). *Nature neuroscience*. Recuperado el 05 de 09 de 2011, de [http://www.nature.com/neuro/journal/v3/n2/full/nn0200\\_99.html](http://www.nature.com/neuro/journal/v3/n2/full/nn0200_99.html)
- Lozano, S. (10 de 05 de 2011). *Teoría cinético- molecular*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://quimica3j.blogspot.com/>
- Manzini, E. (1993). *La materia de la invención. Materiales y proyectos*. Barcelona: CEAC.
- Mater. (2010). *Centro de materiales del FAD*. Recuperado el 08 de 10 de 2011, de <http://es.materfad.com/materiales>
- Material explorer. (2011). *Materia*. Recuperado el 04 de 10 de 2011, de <http://www.materia.nl/541.0.html>
- MatWeb. (2011). *MatWeb. Material porperty data*. Recuperado el 02 de 10 de 2011, de <http://www.matweb.com/search/PropertySearch.aspx>
- Mejía Gómez, C. (2007). *Injertos óseos a partir de espumas de hidroxiapatita*. Medellín.
- Mejía Gómez, C., & Valencia Escobar, A. (2009). *Propiedades de los materiales*. Medellín.

- Mejía Gómez, C., & Valencia Escobar, A. (2010). *El papel del diseño de producto en el desarrollo de nuevos materiales. Una visión integradora desde la ingeniería y el diseño*. Bucaramanga.
- Mejía Gómez, C., & Valencia Escobar, A. (2011). Materiales en el Diseño Industrial. *Iconofacto*, 108-117.
- Metales preciosos*. (s.f.). Recuperado el 26 de 01 de 2011, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Metal\\_precioso](http://es.wikipedia.org/wiki/Metal_precioso)
- Metales preciosos*. (s.f.). Recuperado el 26 de 01 de 2011, de <http://metalesescribanocerrillo.soy.es/>
- Mètre, O. i. (2006). *The International System of Units* (Vol. 8). Paris: STEDI Media.
- Mike, A., & Johnson, K. (2002). *Materials and design. The art of science of material selection in product design*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Monroy Aceves, C., Skordos, A., & Sutcliffe, M. (2007). Design selection methodology for composite structures. *Materials & Design*, 418-426.
- Música y producción. (2011). *Conceptos básicos de acústica*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de <http://musicayproduccion.blogspot.com/2011/06/conceptos-basicos-de-acustica.html>
- NDT Resource center. (2011). *Materiales para acondicionamiento y aislamiento acústico*. Recuperado el 05 de 09 de 2011, de [http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_02\\_03/Acustica\\_arquitectonica/practica/MATERIALES.HTM](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_02_03/Acustica_arquitectonica/practica/MATERIALES.HTM)
- Netdisseny. (s.f.). *3 cuaderno. Nociones básicas de diseño. Teoría del color*. Castellón: Netdisseny.
- Nowak, I., & Ziolkowski, M. (1999). Niobium Compounds: Preparation, Characterization, and Application in Heterogeneous Catalysis. *Chemical Reviews*, 3603–3624.
- Ondas sonoras*. (s.f.). Recuperado el 16 de 08 de 2011, de [http://web.educastur.princast.es/proyectos/jimena/pj\\_franciscga/cualison.htm](http://web.educastur.princast.es/proyectos/jimena/pj_franciscga/cualison.htm)
- Oposipedia*. (s.f.). Recuperado el 24 de 01 de 2011, de [http://www.oposinet.com/tecnologia/temas/oposiciones\\_tecnologia\\_T39.php](http://www.oposinet.com/tecnologia/temas/oposiciones_tecnologia_T39.php)
- Orsa, O. (27 de 02 de 2009). *Oro fundido*. Recuperado el 30 de 08 de 2011, de <http://www.20minutos.es/galeria/5832/0/9/>
- Otamendi, A. (2011). *Revista archivos del sur*. Recuperado el 02 de 09 de 2011, de <http://revistaarchivosdelsur-muestrasarte.blogspot.com/2011/06/arte-argentino-actual-en-la-coleccion.html>
- Otto, F. (1988). *Il 22. Form - Force - Mass*. Berlín: Karl Kramer Verlag.
- Palomino Yamamoto, D. (2001). *Fisiología de la piel*. Recuperado el 02 de 09 de 2011, de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/dermatologia/v11\\_n2/fisio\\_piel.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/dermatologia/v11_n2/fisio_piel.htm)
- Plasticexpress*. (s.f.). Recuperado el 02 de 09 de 2011, de <http://www.plasticexpress.es/?module=materials&lang=es>
- Peña Andrés, J. (2009). *Selección de materiales en el proceso de diseño*. Barcelona: CPG.
- Pérez, I. (23 de 08 de 2009). *Termofisiología*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de [http://esiatecamachalco.foroactivo.com/search?search\\_author=Irene+B.+P%C3%A9rez+N.+5AV1&show\\_results=posts](http://esiatecamachalco.foroactivo.com/search?search_author=Irene+B.+P%C3%A9rez+N.+5AV1&show_results=posts)
- Piaget. (2011). *Piaget*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de [http://www.piaget.es/joyeria/boda?xtor=AD-3&utm\\_source=&utm\\_medium=&utm\\_term=&utm\\_campaign=](http://www.piaget.es/joyeria/boda?xtor=AD-3&utm_source=&utm_medium=&utm_term=&utm_campaign=)
- Plásticos malfanti. (2009). *Plásticos malfanti*. Recuperado el 11 de 10 de 2011, de <http://www.plasticosmalfantichile.cl/category/mallas-y-bolsas/>
- Pond and Landscape Solutions, Inc. (2011). *Pond solutions*. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de <http://www.pondsolutions.com/filters.htm>

- Portaleso. (s.f.). Recuperado el 26 de 01 de 2011, de [http://portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/materiales/metales\\_no\\_ferricos\\_noelia\\_2005/ayuda/produccioncu.html](http://portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/materiales/metales_no_ferricos_noelia_2005/ayuda/produccioncu.html)
- Powell, P. (1994). *Engineering with Fibre-Polymer Laminates*. Londres: Chapman & Hall.
- Propiedades Mecánicas. (2011). Recuperado el 15 de 10 de 2011, de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/villela\\_e\\_ij/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/villela_e_ij/capitulo3.pdf)
- Quade, D. (26 de 08 de 2011). *Med News*. Recuperado el 02 de 09 de 2011, de National Cancer Institute: <http://www.meb.uni-bonn.de/Cancernet/CDR0000256816.html>
- Química industrial. (2011). *Cristales moleculares*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de [http://jennifer-carolina-kimicaindustrial.blogspot.com/2011\\_07\\_01\\_archive.html](http://jennifer-carolina-kimicaindustrial.blogspot.com/2011_07_01_archive.html)
- Racks & Cases. (05 de 09 de 2011). *Fabricación de herrajes para racks y estuches*. Recuperado el 05 de 09 de 2011, de [http://www.racksandcases.com.mx/b/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45:lg-decoy&catid=34:demo](http://www.racksandcases.com.mx/b/index.php?option=com_content&view=article&id=45:lg-decoy&catid=34:demo)
- Red Petro Ingeniería. (2006). *Fabricación de un polímero*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://www.blogfippuni.blogspot.com/2011/04/fabricacion-de-un-polimero.html>
- Revista Nasmate. (s.f.). Recuperado el 02 de 09 de 2011, de <http://www.revistanamaste.com/el-diamante-de-la-verdad/>
- Rivero, V. (2010). *El tacto... ¿ un instrumento de medida o sólo un sentido del cuerpo?* Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://www2.ib.edu.ar/becaib//cd-ib/trabajos/Verri.pdf>
- Robledo, H. (2001). *Elsevier*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de <http://www.elsevier.es/es/revistas/cirugia-espa%C3%B1ola-36/principios-generales-luz-laser-cirugia-cutanea-su-13014556-articulo-especial-2001>
- Rognoli, V. (2010). A broad survey on expressive-sensorial characterization of materials for design education. *METU.JFA*, 287-300.
- Safe Creative. (2010). *Tecnoark*. Recuperado el 30 de 08 de 2011, de <http://tecnoark.com/el-material-solido-mas-ligero-del-mundo-humo-congelado/3446/>
- Saja Sáez, J. A., Rodríguez Pérez, M. A., & Rodríguez Méndez, M. L. (2005). *Materiales. Estructura, propiedades y aplicaciones*. Madrid: Thomson.
- Schaffer, J. P., Saxena, A., Antolovich, S. D., Sanders, T. H., & Warner, S. B. (2000). *Ciencia y diseño de ingeniería de los materiales*. México: Continental.
- Schaffer, J., Saxena, A., Antolovich, S., Sanders, T., & Warner, S. (2000). *Ciencia y diseño de ingeniería de los materiales*. Mexico: Continental.
- Scientia et ars. (22 de 06 de 2009). Recuperado el 05 de 09 de 2011, de <http://pergamo.cicese.mx/wordpress/2009/06/23/plumas-y-agua/materiales/>
- Selección de materiales. (2011). *Selección de materiales*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de [http://materias.fi.uba.ar/6716/Seleccion%20de%20materiales%20II\\_a.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6716/Seleccion%20de%20materiales%20II_a.pdf)
- Serway, R., & Beichner, R. (2002). *Física para Ciencias e Ingeniería*. Mexico: McGraw Hill.
- Sociedad Nacional de minería, petróleo y energía. (2010). *Informe quincenal de la snmp*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://www.snmpe.org.pe/pdfs/Informe-Quincenal/Mineria/Informe-Quincenal-Mineria-El-molibdeno.pdf>
- Sopormetal. (2011). *Aleaciones acero inoxidable*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://www.sopormetal.pt/es/aleaciones-inoxidable.html>
- Tantalio. (2011). *Tantalio*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://www.uam.es/docencia/elementos/spV21/conmarcos/elementos/ta.html>
- Tecartex. (2011). *Tecartex.com LED by innovation*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://tecartex.com/site/content/view/21/59/lang,es/#axzz1aOYRNimv>

- Temperatura de fusión. (2011). *Temperatura de fusión*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de <http://www.bsmex.com.mx/utp-welding/pdf/tabla5.pdf>
- The daly graphic. (09 de 06 de 2010). *Sonido*. Recuperado el 05 de 09 de 2011, de <http://unamiradaalpasadoimagenesdeguerra.blogspot.com/2010/06/sonido.html>
- ThyssenKrupp Fortinox S.A. (2007). *Resistencia al choque térmico*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de [http://www.tkfortinox.com/secciones/productos/especiales/gen\\_res-choque.php](http://www.tkfortinox.com/secciones/productos/especiales/gen_res-choque.php)
- Todoproductividad. (2010). *Aplicaciones de las estructuras sandwich con materiales compuestos*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://todoproductividad.blogspot.com/2010/08/aplicaciones-de-las-estructuras.html>
- Tontechnik - Rechner - sengpielaudio. (s.f.). Recuperado el 17 de 08 de 2011, de Conversion of sound units (levels): <http://www.sengpielaudio.com/calculator-soundlevel.htm>
- Toro, A. (2010). *Acústica*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de <http://jhalt84toro.blogspot.com/>
- Translucidez. (2011). *Translucidez*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de <http://sobrefotografia.com/wp-content/uploads/2011/06/transmision-luz.jpg>
- Universidad Nacional de Colombia. (2011). *Introducción al comportamiento mecánico de los materiales*. Recuperado el 15 de 10 de 2011, de [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec2/2\\_6.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec2/2_6.htm)
- van Kesteren, I., Stappers, P., & de Bruijn, J. (2007). Materials in Products Selection: Tools for Including User-Interaction in Materials Selection. *International Journal of Design*, 41-56.
- Van Kestern, I. (24 de Julio de 2008). Product designers information needs in materials selection. *Materials & Design*, 133-145.
- Viklund, A. (2011). *Medio Alternativo*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://cesaraching.wordpress.com/2011/06/13/grafeno-el-material-de-los-suenos-con-entrevista-al-nobel-de-fisica-2010/>
- W, C. (29 de 12 de 2008). *Decora Estilo*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://www.decoraestilo.com/radiadores-con-estilo/29-12-2008>
- Wick, C., & Veilleux, R. (1985). *Tool and manufacturing engineers handbook*. (4 ed., Vol. 3). Mich: Society manufacturing engineers.
- Wittig de Penna, E. (2001). *Evaluación sensorial. una metodología actual para tecnología de alimentos*. Recuperado el 14 de 08 de 2011, de [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/wittinge01/](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/wittinge01/)
- Wolframio. (2011). *Wolframio*. Recuperado el 10 de 10 de 2011, de <http://www.uam.es/docencia/elementos/spV21/conmarcos/elementos/w.html>
- WorldLingo. (2011). *WorldLingo*. Recuperado el 14 de 02 de 2011, de [http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Polyvinyl\\_acetate](http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Polyvinyl_acetate)
- Xarxa ambiental. (23 de 11 de 2009). *Guía de tecnologías limpias en el ámbito de olores*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://www.xarxaambiental.es/guias/>
- Young, W. (2001). *CareCure Community*. Recuperado el 30 de 08 de 2011, de <http://sci.rutgers.edu/forum/showthread.php?t=115647>
- Zamora, A. (2009). *Scientific Psychic*. Recuperado el 14 de 08 de 2011, de <http://www.scientificpsychic.com/workbook/sentidos-humanos.html>
- Zelectrónicaet. (2011). *tablas de resistividad, conductores y aislantes*. Recuperado el 16 de 10 de 2011, de <http://zelectronicaceet.blogspot.com/>