

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN GUATEMALA Y SU
APLICACIÓN ACTUAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS EDUARDO FUENTES HUETTE

ASESORADO POR EL ING. VIRGILIO AYALA ZAPATA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2006

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Rolando Vargas Oliva
EXAMINADOR	Ing. Mario Corzo Ávila
EXAMINADOR	Inga. Marta Patricia Villatoro Estrada de Escobar
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

OBJETIVOS

General

Aportar un conocimiento integral de las propiedades y características de los materiales utilizados en la construcción, con énfasis en los utilizados en Guatemala.

Específicos

1. Dar criterios para establecer requerimientos de los materiales, definir la calidad de los mismos y formular especificaciones, incluyendo conocimientos del proceso de normalización.
2. Proporcionar elementos para evaluar y escoger materiales en situaciones específicas y de acuerdo a las condiciones de servicio exigidas, incluyendo el conocimiento de los métodos de ensayo y evaluación de la calidad de los materiales tradicionales y de los criterios que rigen el control y auditoria de calidad.
3. Proporcionar una información descriptiva de las propiedades, características y usos de los principales materiales de construcción utilizados localmente.
4. Contribuir a la comprensión de la necesidad e importancia de la realización del proceso constructivo y del desarrollo de tecnologías adecuadas al medio, principalmente, en cuanto al mejoramiento de los materiales tradicionales y el desarrollo de nuevos, basado en recursos locales.

JUSTIFICACIÓN

Los estudiantes de Ingeniería Civil, son los profesionales del futuro, sobre quienes recae la responsabilidad del desarrollo de la infraestructura del país y, como parte importante de ésta, el conocimiento de los materiales de construcción que realmente se utilizan en nuestro país.

La importancia del curso de Materiales de Construcción, se hace cada vez más notable en nuestro entorno y es necesario contar con un documento de respaldo para consulta durante el estudio de la materia.

La investigación es necesaria para encontrar nuevas opciones en la solución de problemas, pero cobrará sentido el trabajo de investigación que se pretenda realizar, sólo si se pone a la disposición de aquellos que pueden aprovechar estos conocimientos. Es por esto que el documento propuesto es de importancia como una referencia bibliográfica tanto para el estudiante de Ingeniería Civil, como para los profesionales, dado que integra información sobre los diferentes materiales de construcción utilizados, actualmente, en Guatemala y las especificaciones de los mismos. Adicionalmente, su contenido aportará para adecuar el tipo de material a utilizar en una determinada obra civil.

RESUMEN

Desde el comienzo de la civilización, los materiales junto a la energía han sido utilizados por el hombre para mejorar su nivel de vida. El estudio de los materiales es de suma importancia tomando en consideración que éstos son insumos para la elaboración de productos y para la construcción de infraestructura. Los materiales, comúnmente, encontrados en Guatemala, son: madera, concreto, ladrillo, acero, pvc, vidrio, aluminio, block y adobe, existiendo muchos más tipos. Debido al progreso de los programas de investigación y desarrollo, se están creando, continuamente, nuevos materiales, con características que dan respuesta a las demandas actuales.

La producción de nuevos materiales y el procesado de éstos hasta convertirlos en productos acabados, constituyen una parte importante de la economía actual. Los ingenieros diseñan la mayoría de los productos facturados y los procesos necesarios para su fabricación y puesto que la producción necesita materiales, los profesionales deben conocer de la estructura interna y propiedades de éstos, de modo que sean capaces de seleccionar el más adecuado para cada aplicación y, también, ser capaces de desarrollar los mejores métodos de procesado.

Los aspectos centrales a considerar en el estudio de materiales son sus propiedades y características generales y los tipos principales de materiales de construcción, actualmente, utilizados en Guatemala. Estos se clasifican según su función específica y se requiere descubrir sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, así como, también, su adecuada aplicación en la construcción. Debido a la cultura del guatemalteco, existen muchos materiales que por tradición, por características de puesta en obra y facilidad de manipuleo se han venido utilizando por años. El ingeniero del futuro tiene el desafío de comprender estos aspectos y

las características de dichos materiales para su adecuado uso, relacionando los nuevos métodos constructivos con los materiales y métodos tradicionales del país.

INTRODUCCIÓN

Los materiales son las sustancias con características determinadas que componen cualquier cosa o producto. Desde el inicio de la civilización, los materiales junto a la energía han sido utilizados por el hombre para mejorar su condición. Las primeras edades en las que se clasifica la historia llevan sus nombres, de acuerdo al material desarrollado, que significó una época en la evolución. La edad de piedra con las primeras herramientas y armas para cazar fabricadas en ese material, la edad de bronce en la que se descubre la ductilidad y multiplicidad de ese material, seguida de la edad de hierro en la que éste reemplaza al bronce por ser un material más fuerte y con más aplicaciones.

Los productos de los que se ha servido el hombre a lo largo de la historia para mejorar su condición de vida o simplemente para subsistir, han sido y son fabricados a base de materiales. Se podría decir que están a nuestro alrededor y que de ellos depende, en gran parte, la existencia del hombre. Existen muchos más materiales de los que se utilizan día a día, más de los que se ven en las ciudades o los que se utilizan en nuestro quehacer diario.

Dada la variedad de materiales con que se cuenta y, tomando el factor económico como parámetro en la decisión final para determinar el tipo de materiales a utilizar en un determinado proyecto, es beneficioso tener bases de comparación de varios materiales. Esto hace posible seleccionar un determinado material con las especificaciones necesarias y a un monto económico adecuado a los parámetros que regularán el proyecto.

Los cursos de Materiales de Construcción, proporcionan al estudiante los conocimientos teóricos necesarios para la toma de decisiones en estos aspectos.

Debido a la necesidad de la actualización del estudio de los Materiales de Construcción en Guatemala se elaboró este documento, el cual integra elementos del contenido del curso de Materiales de Construcción con el análisis del estado actual de los materiales de construcción en Guatemala. Podrá ser de utilidad, tanto para estudiantes como para profesionales, por cuanto en él se plantean diversos conceptos relacionados con los materiales utilizados en Guatemala y se contemplan los factores que a nivel profesional se deben conocer para el uso adecuado y optimización de los materiales de construcción en el país.

1. LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN A LO LARGO DE LA HISTORIA

1.1. Edad de Piedra³

La Edad de Piedra es el período durante el cual, los seres humanos crearon herramientas de piedra debido a la carencia de una tecnología más avanzada. La madera, los huesos y otros materiales también fueron utilizados, pero la piedra (en particular el pedernal) fue utilizada para fabricar las herramientas y armas de corte. El rango de tiempo que abarca este período es ambiguo, disputado y variable según la región en cuestión. Aunque es posible hablar de un período general abarcativo, denominado la Edad de Piedra para el conjunto de la humanidad, no hay que olvidar que algunos grupos humanos nunca desarrollaron la tecnología del metal fundido y por lo tanto quedaron sumidos en una *edad de piedra* hasta que se encontraron con culturas tecnológicamente más desarrolladas. Sin embargo, en general, se cree que este período comenzó en alguna parte del mundo hace 2 y 5 millones de años, con la aparición de la primera herramienta humana (o pre-humana). Este período fue seguido por la Edad de Bronce, durante el cual, las herramientas de bronce llegaron a ser comunes; esta transición ocurrió entre los 6000 y 2500 A.C.

Tradicionalmente se viene dividiendo esta Edad en Paleolítico, con un sistema económico de caza-recolección y Neolítico, en el que se produce la revolución hacia el sistema económico productivo: agricultura y ganadería.

1.2. Edad del cobre³

Se denominó calco al cobre, de aquí que el calcolítico sería la época prehistórica correspondiente a la Edad del Cobre. Es una fase intermedia entre la Edad de la Piedra Pulimentada o neolítico y la Edad de Bronce. Se reserva esta denominación para algunas culturas, que presentan rasgos claramente diferenciados, en el periodo entre el 2.500 y el 1.800 a.C., paralelamente entre el neolítico y la Edad de Bronce.

El bronce es una aleación de cobre y estaño. El cobre fue el primer metal que utilizó el ser humano y lo hizo hace aproximadamente 5000 años, a finales del Neolítico.

En la Península Ibérica el uso del cobre se generaliza hace 4000 años, coincidiendo con las construcciones megalíticas.

Otra cultura característica del Calcolítico es la de ornamentación por cuerdas originaria del Norte de Europa. Ambas culturas se desplazaron de sus primitivos asentamientos y emigraron, quizás empujados, hacia Europa (Francia y Alemania).

1.3. Edad del bronce³

La Edad del Bronce es un período en la civilización en que se desarrolló en metalurgia el empleo de este metal, resultado de la mezcla de cobre y estaño. Fue inventado en oriente medio hacia el IV milenio A.C. sustituyendo al Calcolítico aunque en otros lugares esta última edad fue desconocida y el bronce sustituye directamente al período Neolítico. En el África negra, el Neolítico es seguido de la Edad de Hierro.

La fecha de adopción del bronce varía según las culturas:

En Asia central el bronce llega alrededor del 2000 A.C. en Afganistán, Turkmenistán, e Irán. En China, lo adopta la dinastía Shang.

1.4. Edad del hierro³

La Edad de hierro se refiere al período en que se desarrolló la metalurgia del hierro. Este metal es superior al bronce en cuanto a dureza y abundancia de yacimientos.

El empleo correcto de este mineral comienza en el II milenio, los hititas fueron el primer reino organizado que controló su producción.

La expansión del conocimiento sobre el uso del hierro se produce probablemente desde Irán a través del Cáucaso. Esta edad trae cambios importantes, pues los imperios orientales se debilitan, mientras que los centros de poder se desplazan hacia occidente.

Así pues, la Edad del Hierro viene caracterizada por la utilización del hierro como metal, aplicación importada de Oriente a través de la emigración de tribus indoeuropeas (celtas), que a partir del 1.200 a.C. empiezan a llegar a Europa Occidental y su período alcanza hasta la época romana y en Escandinavia hasta la época vikinga (alrededor del año 1.000 D.C.).

Estos emigrantes indoeuropeos, llamados a menudo Celtas aunque el pueblo de este nombre era solo uno más de los que formaban parte de los desplazados, vinieron en un largo periodo en emigraciones parciales de grupos muy distintos entre sí, aunque conservaban ciertos elementos homogéneos como una serie de lenguas indoeuropeas, y unos hábitos culturales similares.

1.5. Era actual³

Desde los principios de la era moderna, uno de los objetivos importantes de las investigaciones ha sido el descubrimiento y desarrollo de materiales con propiedades útiles. Los investigadores han inventado sustancias y también formas de procesar materiales naturales para elaborar fibras, películas, recubrimientos, adhesivos y sustancias con propiedades eléctricas, magnéticas u ópticas especiales. Hoy en día hemos ingresado en una nueva era en la que los avances de la tecnología dependen más que nunca del descubrimiento y desarrollo de nuevos materiales útiles. He aquí algunos ejemplos de cómo tales materiales afectarán todos los aspectos de nuestra vida en el futuro cercano:

- El acero, el cual vino a redefinir las estructuras a base del control de la cantidad de carbono que este contiene.
- El cemento, el cual con sus diferentes tipos y capacidades de resistencia crearon nuevas técnicas constructivas y mejores, más grandes y resistentes edificaciones.
- El descubrimiento del PVC el cual impone una nueva alternativa de un material sumamente resistente y con propiedades únicas y sustituyen a otras como lo son los tubos de concreto, cerámicos o de acero y la madera en muchos artefactos como ventanas y puertas.
- La fibra de vidrio mezclada con plástico que logra unir las propiedades de los dos elementos (la solidez y estabilidad química del vidrio con la capacidad de absorber golpes del plástico), adicionalmente es un muy buen aislante eléctrico. Las ventajas más notables de los artículos fabricados con fibra de vidrio son: la ligereza, resistencia, innovación, practicidad y durabilidad.
- Para la utilización en el espacio surgen entonces materiales como el grafito y variedades especiales de este. Se trata de "diseñar" materiales con las propiedades adecuadas. Los materiales sometidos a condiciones

físico-mecánicas especiales dan como resultado materiales novedosos con múltiples aplicaciones.

En general los materiales de construcción se pueden clasificar en tres grupos: primitivos (fáciles de conseguir en la naturaleza) tales como ramas, cañas, hierbas, hojas, etc., los tradicionales (que requieren de una fabricación más o menos compleja), como mármol, ladrillo, baldosas, metal, vidrio, etc. y los modernos (sustancias relativamente nuevas) como el acero, madera contrachapada, plásticos, materiales cerámicos avanzados, etc.

En la historia de la ingeniería y la arquitectura en Guatemala se ha utilizado una gran variedad de materiales. Sin embargo se han saltado etapas, o no se han desarrollado de manera adecuada, lo que ha hecho que la estética y la funcionalidad de las ciudades sea muy disímil o permanezca por tiempo prolongado igual, mientras que en el mundo cambia. Aunque con el paso de los años esta imagen está cambiando, se esta tomando conciencia de la importancia de evolución de la ciudad y lo favorable que es para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Línea cronológica

Principalmente en la historia de la construcción guatemalteca y a nivel mundial lo que más varía en las distintas etapas es el estilo arquitectónico. Sin embargo se pueden distinguir ciertos materiales característicos en las diferentes épocas de nuestra historia; adicionalmente dependiendo del sitio (ubicación geográfica: zonas costeras, zonas rurales, ciudades), variaba la utilización en cuanto al porcentaje de material utilizado por las tipologías (estilos de edificios) arquitectónicas. De ese modo se puede afirmar que se ha evolucionado y empleado los siguientes materiales:

En la construcción indígena, mejor conocida como precolonización se utilizó predominantemente el barro, la tierra, la paja y las estructuras primitivas de madera.

En las construcciones Coloniales (1500-1850) se utilizó como materiales principales la arcilla, teja de barro, adobe, piedras y cales, vidrio, caña y bajareque.

De el siglo XIX hasta 1944 los materiales de construcción que mas se utilizaron y marcaron esta época fueron la piedra, madera, vidrio, adobe, bajareque, cerámicas y el inicio del uso del mármol.

En la época de la construcción moderna (1945-1975) se da, entonces, el uso del concreto, la piedra, el hierro, baldosas cerámicas, ladrillo y más vidrio.

En la arquitectura contemporánea se emplean como materiales de construcción el vidrio, aluminio, acero y otros metales, concreto, acrílicos, piedra (más que todo para funciones estéticas), laminas de tabla yeso, pvc y pisos cerámicos.

2. REQUERIMIENTOS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

2.1. Requerimiento de los materiales ⁴⁰

2.1.1. Criterios

Derivados de requerimientos de la edificación o estructura

Los que a su vez son impuestos por

- Exigencias o requisitos de usuarios.
- Exigencias del medio circundante.

Las exigencias de los usuarios o humanas comprenden:

- Exigencias de habitabilidad en general.
- Exigencias económicas (condicionan lo que puede darse y su duración útil).

Dentro de estos grupos pueden definirse:

Exigencias fundamentales o absolutas relacionadas con salud física y mental de las personas se deducen del estudio de las condiciones óptimas de vida y trabajo, se pueden clasificar en:

- Acústicas
- Higrotérmicas
- Iluminación y asoleamiento
- Aereación
- Higiene

- Seguridad
- Estética
- Medio ambiente

Exigencias relativas: De comodidad o bienestar relacionadas con el nivel de vida y cultural alcanzado por las personas.

Se deducen del estudio de la educación, cultura, tradición y hábito de vida de la población.

Exigencias Colectivas: Relacionadas con necesidades de la comunidad.

Exigencias del ambiente circundante: Dependientes de condiciones naturales climatológicas y sísmicas.

Condiciones de uso y ocupación previstas de los edificios:

Los edificios deben usarse correctamente y en forma congruente con su construcción y distribución.

En resumen:

Exigencias del usuario u ocupante.

Exigencias de la comunidad.

Exigencias del medio natural circundante.

Exigencias de ocupación y uso de la edificación.

2.1.2. Normalización

La resolución de estas exigencias o requerimientos constituye el problema de la construcción que consiste en pasar de:

Requerimientos humanos a normas de calidad de componentes y elementos.

Con ayuda de las ciencias aplicadas y de los resultados de la evaluación en Laboratorio se ha llegado modernamente al desarrollo de:

Normas de comportamiento o funcionamiento y complementarias de las normas técnicas de carácter específico usadas generalmente para materiales y productos, métodos de ensayo, etc.

La normalización es la acción y efecto de normalizar o sea regularizar y ordenar algo que antes no lo estaba.

Las normas se preparan por lo general a nivel nacional o internacional por organismos adecuados que tienen la representación de los sectores interesados (productores, consumidores técnicos autoridades gubernamentales). Esto es necesario pues la norma para ser útil debe ser como la ley, una prescripción determinante de aplicación generalizada y aceptada por todos los afectados.

2.1.2.1. Condiciones para que las normas sean adecuadas:

1. Responder a necesidad evidente
2. Ser elaborada con la aportación y consenso de los interesados
3. Ser de inmediata y fácil aplicación
4. Producir economía y mejora del producto
5. Sintetizar intereses comunes
6. Ser revisada tan pronto las circunstancias lo aconsejen. La norma para ser eficaz debe ser clara, precisa, objetiva.

2.1.2.2. Ventajas de las normas:

1. Mejoras en la producción

Aumento de la producción

Mejor aprovechamiento de equipo y materiales

Especialización de operaciones

2. Disminución Costos

Racionalización proceso producción

Aumento de producción

Aumento de mercado

3. Mejora Calidad

Establece condiciones óptimas de producción

Mejor control producción

Competencia a base de calidad

4. Expansión Mercado

Patrones uniformes de consumo

Baja precio producto

Facilita intercambio productos

Facilita transacciones comerciales

5. Mejora transacciones comerciales

Establece lenguaje común, entendimiento en cualidades y usos de productos y servicios.

Regulariza y simplifica ventas

Favorece competencia honorable y justa

6. Beneficios colectividad

Proporciona estabilidad y mejora condiciones de vida. Beneficia al consumidor al darle productos de calidad adecuada a sus necesidades y posibilidades. Mayor y más segura remuneración y repartición equitativa de la misma

2.1.2.3. Clases de normas

Por su naturaleza:

- Científicas o fundamentales
- Industriales o técnicas

Calidad

Métodos de ensayo

Patrones o tipos normales

Producción o trabajo

Dimensionales

Coordinación modular

Dimensional, formatos
colores, tuberías, etc.

Por su ámbito de aplicación:

- Nacionales (y además las institucionales o empresariales y las de grupos industriales o profesionales afines).
- Internacionales

2.1.2.4. Esquema de la elaboración de una norma:

1. Propuesta de formulación de una norma.

- Iniciativa de gobierno, industria o grupo de industrias, organismo técnico, profesional, asociación de usuarios, etc.

-Aceptación de la solicitud por organismo nacional de Normas (Comisión Nacional de Normas) (COGUANOR).

2. Estudio y elaboración del primer proyecto de norma:

- La COGUANOR nombra un Comité Técnico de trabajo formado por representantes de los principales sectores interesados y afectados (productor, comerciante, consumidor, técnico, gobierno y de la COGUANOR).

-El CTT elabora, discute y aprueba el primer proyecto de la norma.

3. Período de Consulta del Proyecto de Norma (Encuesta pública):

- La COGUANOR después de aprobar el proyecto de norma lo pasa a consulta mediante encuesta pública (3-4 meses)

4. Revisión del proyecto de norma y elaboración de la norma definitiva:

- La COGUANOR pasa el proyecto de norma con las observaciones recibidas al CTT que luego elabora el texto definitivo y lo pasa a la directiva de COGUANOR para su aprobación.

5. Promulgación oficial de la norma como obligatoria (para gobierno) y voluntaria (sector privado):

-La COGUANOR pasa la norma final para su sanción legal como norma Guatemalteca al Ministerio de Economía.

6. Revisión periódica de la norma:

-El CTT se mantiene atento a la aplicación de la norma y propone cuanto es necesario las modificaciones o revisión de la misma.

2.2. Evaluación y selección de los materiales

2.2.1. Criterios ⁴⁰

2.2.1.1. Criterios de evaluación

Evaluar consiste en comparar los requerimientos exigidos con las propiedades y características de los materiales escogidos.

La medida de la adecuación de un material esta en la comparación de los niveles exigidos (factores externos) con los niveles obtenidos u obtenibles (factores internos dependientes del producto o material en sí).

Los requerimientos exigidos se traducen en normas que definen la calidad de los materiales y como complemento aquellos que regulan la producción y fabricación y la determinación de las propiedades del material (métodos de ensayo normalizados).

Algunos de los requerimientos para una construcción o sus componentes pueden expresarse en cifras numéricas o en términos cuantificables (los derivados de exigencias de habitabilidad básica necesidades fisiológicas,

humanas y las económicas) tal el caso de los aspectos físicos de la construcción y los costos.

Otros como algunos derivados de exigencias sociológicas y psicológicas solo pueden expresarse en términos descriptivos.

Hay en progreso estudios para poder evaluar estas exigencias en la forma más objetiva posible, (Asignación de ponderaciones, realización de encuestas, etc.) que de estos estudios se determinan grados de adecuación que sirven para expresar los requerimientos para la edificación y sus componentes.

El CIB (Conseil International du Batiment) con sede en Holanda y el CSTB (Centro Scientifique at Technique du Batiment) de Francia, tienen normas de requerimientos de la edificación y sus componentes que incluyen los dos tipos de requerimientos mencionados.

Las normas actuales aplicables en construcción tienden a subdividirse en normas específicas relativas a procesos, productos o materiales dados y a normas generales de comportamiento o funcionamiento para unas condiciones de servicio sin dedicatoria a un producto material o proceso dado.

Las primeras son las normas tradicionales usadas en casi todo el mundo. Las normas funcionales o de comportamiento desarrolladas en países donde la construcción es más organizada y avanzada, pretenden fijar requerimientos más racionales y dar los medios para valorar y aceptar materiales o sistemas nuevos.

2.2.1.2. Criterios de Selección⁴⁰

El material apropiado para una situación dada será el que:

Satisfaga económicamente las condiciones impuestas durante el período de vida útil de la estructura.

La selección de un material entre varios posibles no es simple y depende de la comparación de una serie de factores que definen las características y propiedades del material.

1. Características físicas, mecánicas y químicas.
2. Técnicos: Apariencia y aceptabilidad; puesta en obra.
3. Económicos: Ejecución, mantenimiento, reemplazo demolición.

Disponibilidad y procedencia

El análisis de materiales nuevos se dificulta por falta de datos suficientes acerca de sus propiedades y características, que deben ser obtenidas de pruebas de Laboratorio y observaciones sistemáticas del material en servicio, lo que a su vez presenta problemas de comparación con materiales competitivos conocidos.

Para ayudar a comparaciones eficientes utilizan las normas y además como medida práctica para lograr un enfoque integral a nivel nacional o internacional se puede utilizar como guía de características a evaluar las listas tipo de características o propiedades a ser evaluadas.

- Lista de características y propiedades para evaluar materiales a ser usados en muros y Bouwcentrum de Holanda.

- Lista tipo de propiedades de materiales y productos de construcción del CIB (*Conseil Internationale du Batiment*).

La lista típica de propiedades y características, es la siguiente (Lista CIB resumida)

1. Propiedades

- 1.1 Naturaleza y uso del producto o material
- 1.2 Normas o especificaciones aplicables
- 1.3 Método de fabricación
- 1.4 Constitución y aspecto del producto
- 1.5 Propiedades físicas, mecánicas, químicas, biológicas
- 1.6 Durabilidad
- 1.7 Propiedades técnicas específicas de instalaciones, accesorios aparatos mecánicos, etc.
- 1.8 Características de puesta en obra o servicio
- 1.9 Propiedades que definen el comportamiento o función de los elementos de construcción hechos con el material o producto

2. Fricción, montaje o ensamblaje

- 2.1 Ensamblaje (diseño y construcción)
- 2.2 Detalles arquitectónicos y constructivos
- 2.3 Facilidad de manipuleo y colocación
- 2.4 Posibles problemas en relación al trabajo de construcción.
- 2.5 Referencias a construcciones terminadas y en servicio.

3. Directrices para la construcción y mantenimiento

- 3.1 Directrices para el trabajo de construcción
- 3.2 Directrices para el trabajo de mantenimiento

TABLA I: Proceso típico para selección y evaluación de materiales y productos

Definición problema ←	Lista requerimientos (solución ideal)	Programa edificación	requerimientos	Exigencias usuarios
Consideración preliminar materiales o servicios ←	Catálogo materiales →	Información laboratorios	productores cámaras construcción	
Selección preliminar ←	Comparación ←	Catálogo materiales	Lista requerimientos	
Consideración de materiales servicios es ←	Información detallada materiales ←	Bibliografía	Análisis laboratorio, inspecciones, etc	
Decisión final sobre materiales o servicios ←	Comparación ←	Información detallada materiales escogidos	Lista requerimientos	
Comprobación en deservicio ←		Inspecciones, usuarios, registros, etc.	entrevistas,	

Fuente: Morales, Ing. Jorge Mario. "Materiales de Construcción", Parte1.

2.2.2. Materiales ya normalizados⁴⁰

Los materiales de construcción ya normalizados pueden evaluarse y seleccionarse por medio de sellos o marcas de conformidad con las normas.

Estas son derivadas de la necesidad de asegurar que un producto sea fabricado adecuadamente y que su calidad final sea la requerida para su función asignada.

Por lo que los sellos o marcas de conformidad con las normas proporcionan:

- Garantía al consumidor
- Protección al productor o fabricante
- Elimina competencia desleal
- Valora más el producto
- Impulsa al fabricante a mejorar calidad

- Extiende el campo de la normalización y amplía el mercado del producto
- Buen argumento de venta

La marca de conformidad con las normas la extiende una entidad oficialmente reconocida con base en:

- Verificación de la capacidad de producción.

Objetivos de la marca de conformidad con las normas:

- Controlar que el fabricante controla su producción y la calidad de la misma.
- Establecer el tipo de garantía dado por el sello o marca (producto y se elabora y controla de acuerdo a norma y calidad de la misma).

2.2.3. Materiales nuevos

Las normas técnicas para productos están basadas en una larga experiencia en el uso de los mismos, algunas veces complementada por un período de investigación sistematizada. Las normas permiten la separación de los productos no aceptables por la realización de pruebas simples de control de calidad.

Este tipo de normas requiere pues de:

1. Largo período de preparación, amplia experiencia previa o investigación sistematizada.
2. Solo son aplicables al producto o servicio para el que se elaboran.

El aumento creciente en el número y tipos de materiales y componentes de construcción que se utilizan en la actualidad, hace difícil establecer para los mismos normas técnicas específicas adecuadas en plazos muy cortos. Las normas existentes que son específicas no les son aplicables.

La necesidad de evaluar y aceptar los materiales o procesos nuevos que sean potencialmente adecuados, ha hecho que se estudien las normas funcionales o de comportamiento, y nuevos sistemas de evaluación de las propiedades.

La norma de tipo funcional o de comportamiento define características o propiedades a exigir sin hacer consideración a componente o material específico o sea que las especificaciones funcionales o de comportamiento se formulan de tal manera que dejan libre la selección del material, método constructivo, etc.

La norma funcional es adecuada cuando es posible evaluarla en las condiciones naturales o simuladas de uso.

Un nuevo componente o material no puede valorarse comparándolo con las normas del tradicional que reemplaza.

Las ventajas de normas funcionales:

- Promueven la innovación y desarrollo de nuevos productos
- Promueven la tipificación de productos y materiales
- Dan una base para una evaluación más racional de la construcción
- Promueven una competencia saludable en la construcción
- Promueven la tecnificación y el enfoque científico de la construcción

Dificultad de la implantación de las normas funcionales:

- Requieren considerable conocimiento técnico y científico.
- Requieren del establecimiento previo de requisitos para diferentes tipos de edificación, lo que involucra estudios de gran envergadura.
- La valoración de las proposiciones de las mismas exigen ensayo de prototipos y ensayos en servicio que demandan personal e instalaciones de laboratorio.
- Un sistema de normas funcionales es operable si conjuntamente se organiza un sistema de control de calidad y de inspección de la producción y de los productos terminados a fin de valorar y aprobar las alternativas de solución que se presenten.
- El sistema de normas funcionales puede ser antieconómico en países que no cuentan con los recursos técnicos y económicos y el desarrollo de la construcción para sustentarlo.

No obstante lo anterior, el concepto de funcionamiento, comportamiento o "Performance" como se dice en inglés debe ser la base del razonamiento para diseñar o desarrollar productos o para evaluar y aceptar los mismos.

Este concepto es necesario para promover el futuro desarrollo de la construcción en forma científica y sistemática.

2.2.4. Responsabilidad del sector construcción

El sector de la construcción experimenta un cambio continuo y acelerado en cuanto a tecnología, aunque se mantengan viejas técnicas el cambio es continuo. Estas viejas técnicas se mantienen por que son necesarias para obras de rehabilitación o restauración.

Este cambio nos lleva a un proceso lento pero continuo en los procesos de construcción tradicionales. Cada vez hay más procesos industrializados en la construcción y mayor tecnología, se tiende cada vez menos a los trabajos

realizados por operarios (por ejemplo, cada vez se tiende más a la tabiquería de cartón yeso, que ya viene preparada de fábrica, que a la tabiquería de ladrillo, que la tiene que hacer el operario en la obra directamente).

Por otro lado nos encontramos con un gran desarrollo normativo. Actualmente nos encontramos con:

- Normativa legal obligatoria: Normativa propia de cada país.
- Normativa procedente del campo de la normalización: Normativa procedente de organizaciones internacionales, certificación de materiales que garantizan unas determinadas características y requisitos mínimos.
- Normativa de productos de construcción: Normas bajo las que se fabrica el material.

Este desarrollo de normativa se ha dado en parte por las nuevas exigencias de los usuarios, que cada vez son más.

Se camina hacia un libre mercado de circulación de productos dentro de Centroamérica, México y Estados Unidos, para que se de esta libre circulación de productos tienen que cumplir con ciertas normas. Con estas normas los productos demuestran que están fabricados dentro de ciertos parámetros de control de calidad y especificaciones internacionales y consecuentemente pueden ser utilizados en cualquier país.

Aumento de la capacidad de las comunicaciones, lo que implica un mayor acceso y acercamiento a las nuevas tecnologías de informática y telecomunicación. Esto lo podríamos unir a su vez a un proceso cada vez mayor de globalización de la sociedad y sus actividades.

3. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MATERIALES

3.1. Propiedades que afectan la seguridad y estabilidad estructural

3.1.1. Propiedades mecánicas¹⁶

- Son las que determinan el comportamiento de los materiales bajo carga.
- La respuesta a las fuerzas externas depende del tipo de unión y el ordenamiento estructural de los tornos, moléculas y cristales en el sólido.
- Este ordenamiento puede modificarse en los procesos de conformación y manufacturación alterándose las propiedades.
- El tipo de esfuerzo y la forma de sus aplicación puede también introducir cambios en las propiedades.

3.1.1.1. Los materiales en general pueden subdividirse por su comportamiento en⁴⁴

Elastoplásticos-Sólidos policristalinos (metales).

Elastoviscosos o viscoelásticos - (sólido amorfos - plásticos, elastómeros, concreto, vidrio, etc.).

Elásticos — Cristales iónicos y covalentes

3.1.1.2. Tipos básicos de deformación en los materiales⁴⁴

- Elástica (recuperable)
- Plástica —inelástica- permanente
- Viscosa — inelástica — permanente

3.1.1.3. Anisotropía e isotropía respecto a las propiedades mecánicas⁴⁴

- Los cristales simples son anisotrópicos.
- Los materiales policristalinos como los metales son isotrópicos macroscópicamente.
- Los materiales amorfos son isotrópicos en escala microscópica y macroscópica.
- El Concreto, los morteros de albañilería, las mezclas asfálticas son heterogéneas macroscópicamente, pero isotrópicas respecto a sus propiedades mecánicas.
- La madera, los plásticos laminados y otros materiales compuestos son anisotrópicos.
- La deformación de los metales puede causar anisotropía y operaciones de forja, que alinean los granos y producen propiedades direccionales.

3.1.1.4. Esfuerzo – Deformación¹¹

La fuerza o carga aplicada produce un esfuerzo y una deformación en el material.

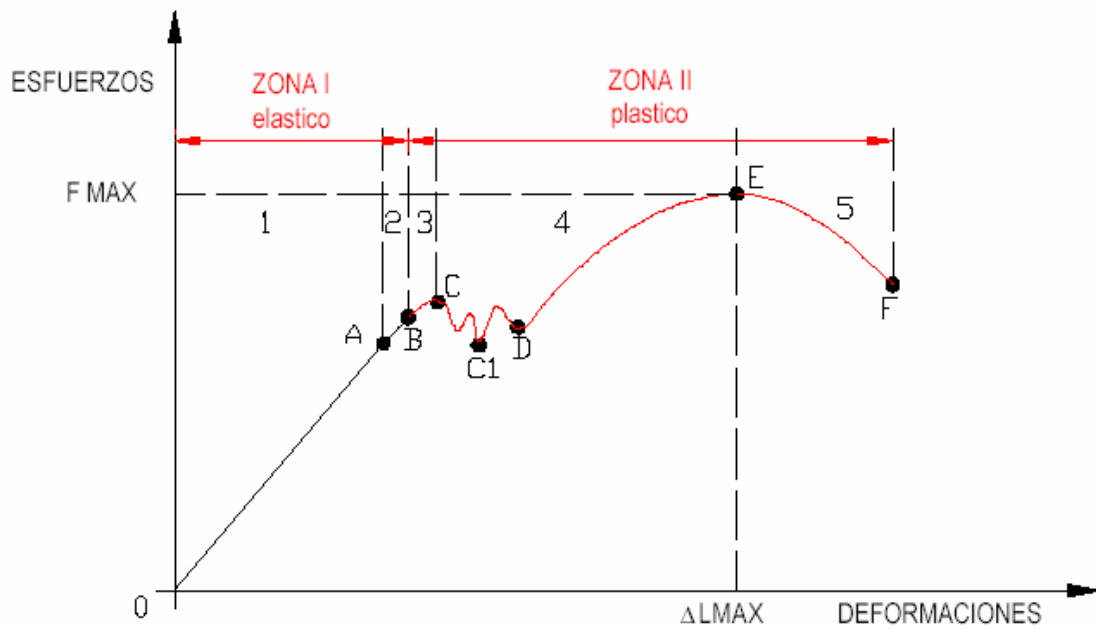
Tipos de esfuerzos:

- Uniaxiales - Compresión, tensión, corte
- Biaxiales - Tensión, compresión, combinados

- Triaxiales - Corte, torsión
- Flexión.

3.1.1.5. Curva esfuerzo deformación

FIGURA 1: Curva de esfuerzo - deformación



Fuente: BARBARA Zatina, Fernando. Materiales y Procedimientos de Construcción.

A = límite de elasticidad o proporcionalidad.

B = límite de elasticidad práctica.

C = límite inicial de fluencia.

D = límite final.

E = carga máxima.

F = rotura de la probeta.

Zona I = período elástico.

Zona II = período plástico.

1 = Zona elástica. La deformación es proporcional a la carga y desaparece al cesar dicha carga.

2 = zona de alargamiento permanente. El tramo AB se confunde con la recta inicial, en B se obtiene la máx. tensión hasta la cual el alargamiento permanente es tan pequeño que se lo puede considerar prácticamente elástico.

3 = zona de fluencia.

4 = zona de alargamiento homogénea después de D en toda la probeta, por efecto de deformación hay un endurecimiento, acritud hasta E, donde adquiere la carga máxima.

5 = zona de estricción, la acritud subsiste pero hay una disminución de secciones transversales y la carga disminuye hasta la rotura.

Tramo CD: el material fluye o cede sin que aumentara la Tensión hasta D, pasando D con ayuda.

El límite teórico de elasticidad: se determina con un extensómetro, que mide la deformación en la zona de rotura; se somete a la rotura con sucesivos esfuerzos crecientes y entre 2 estados de cargas se descargó, verificando si se produjeron alargamientos permanentes. "La mayor tensión que se alcanzó es el límite".

El límite aparente de elasticidad: se establece determinando el límite de fluencia:

1) directamente en el diagrama, la tensión que corresponde al límite de fluencia; 2) observando si la aguja de la máquina sufre algún retroceso o se detiene (en la práctica).

3.1.2. Comportamiento elástico e inelástico¹¹

3.1.2.1. Comportamiento elástico

3.1.2.1.1. Constancias elásticas -Módulo de Elasticidad

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

- Módulo de compresibilidad o módulo volumétrico

$$K = \frac{\text{Esfuerzo hidrostático}}{\text{Cambio de volumen}} = \frac{\sigma}{\Delta V / V_0}$$

Donde:

$$\Delta V = V_0 - V$$

V_0 = inicial V = final

- Módulo de corte (o de rigidez)

$$\sigma = \frac{\tau}{\gamma}$$

- Módulo de Poisson

$$\nu = \frac{\varepsilon \tau}{\varepsilon L}$$

Donde:

$\varepsilon \tau$ = Cambio de ancho

εL = Cambio de longitud

- Relación entre el módulo E y K

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

- Relación entre G y E

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

- Relación entre G, K y E

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{9K} + \frac{1}{3G}$$

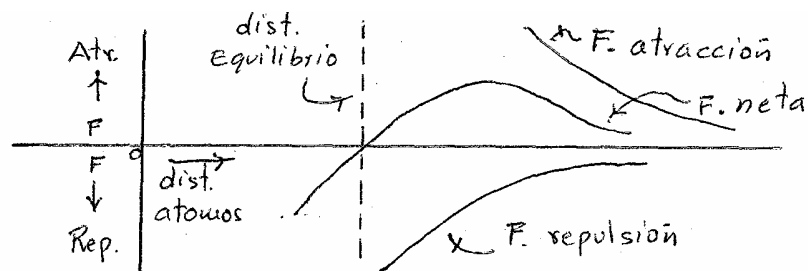
3.1.2.1.2. Comentarios sobre E, K y G

- Para materiales suaves como coloides, gels, pastas y masillas K es muy grande en relación a G - prácticamente $E=3G$. Estos materiales pueden considerarse incompresibles en el grado en que cambian de forma bajo fuerzas externas.
- En metales, fibras y plásticos K tiene alguna influencia.
- Para líquidos los que sólo pueden sostener una presión hidrostática, el módulo K es el único considerado.
- La recuperación elástica es debida a la acción de las fuerzas atómicas e intermoleculares.
- El E de algunos compuestos covalentes como el diamante es alto.
- El de metales y cristales iónicos es de magnitud intermedia.
- El de los sólidos amorfos como plásticos, elastómeros y cristales moleculares es bajo comparado con los otros grupos.
- El E decrece con la temperatura siendo este cambio más sensible en los sólidos amorfos.
- En materiales anisotrópicos las constantes elásticas y propiedades según los ejes de simetría pueden ser muy variables.

3.1.2.1.3. Teoría de la acción elástica

- La deformación elástica se explica por el espaciamiento de los átomos y las fuerzas cohesivas entre ellos.
- Las fuerzas de atracción y repulsión de los iones varían conforme el espaciamiento entre los mismos según se ve en la figura siguiente:

FIGURA 2: Las fuerzas de atracción y repulsión de los iones

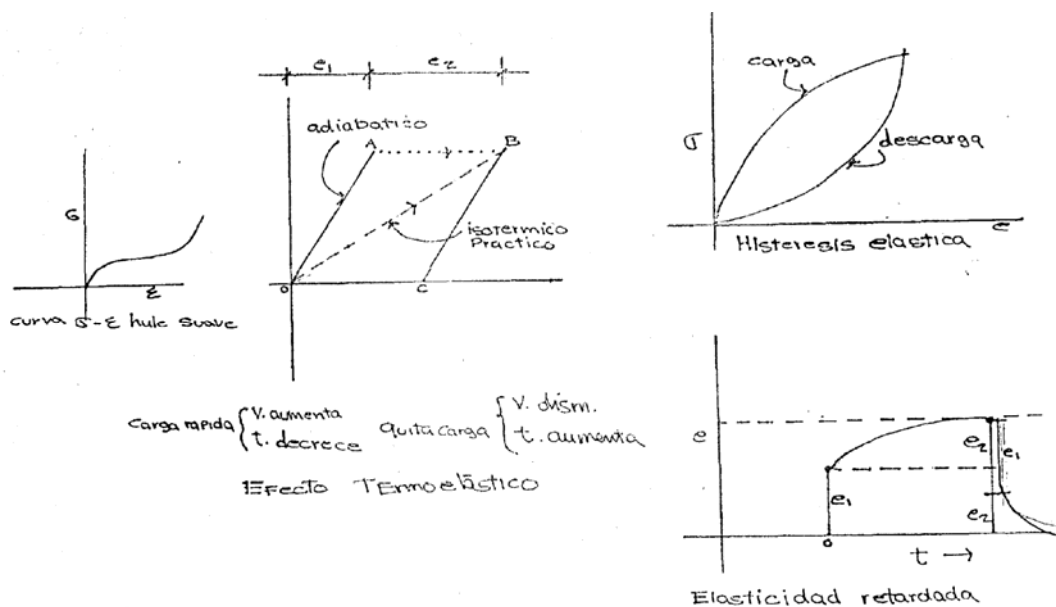


- La distancia entre los iones es estable cuando la fuerza resultante es 0.
- Al aplicar fuerza externa de separación, la fuerza resultante en los iones es de atracción y después de quitar la fuerza externa los iones vuelven a su posición de equilibrio. Lo inverso es válido.
- La resistencia elástica o rigidez es una función de la pendiente de la curva de la fuerza resultante en el punto donde la curva corta el eje de fuerza 0.

3.1.2.2. Comportamiento inelástico

- Muchos materiales exhiben efectos de deformación inelástica a todo lo largo de la curva esfuerzo—deformación.
- Los elastómeros se caracterizan por deformaciones elásticas muy grandes y dan relaciones curvas entre el esfuerzo y la deformación. El E del hule se incrementa con el aumento de deformación.
- Algunos materiales exhiben efectos termoelásticos y de elasticidad retardada, al ser cargados o descargados rápidamente.

FIGURA 3: Comportamiento inelástico



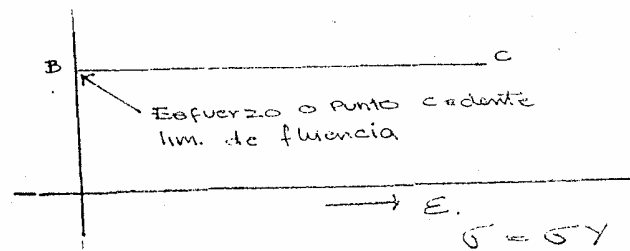
3.1.2.2.1. Tipos de acción inelástica

1. Deslizamiento o fluencia -deformación plástica instantánea.
2. Flujo o escurrimiento plástico—creep.
3. Fractura o rotura del material.

3.1.2.2.2. Plasticidad:

- Más allá de un cierto esfuerzo mínimo, los materiales exhiben una deformación permanente no recuperable: deformación plástica.
- La deformación plástica es resultado del desplazamiento permanente de átomos y moléculas de sus posiciones originales.
- Cuerpo plástico ideal: (sólido de St Venant).

FIGURA 4: Cuerpo plástico ideal



La deformación es continua a esfuerzo constante.

Plasticidad - habilidad de deformarse permanentemente y continuamente sin que sobrevenga la ruptura.

3.1.2.2.3. Mecanismo de deformación plástica

Deslizamiento a resbalamiento de átomos (iones) en planos intercrystalinos (materiales policristalinos).

Movimiento de grupos de moléculas que se deslizan formando un escurrimiento (materiales amorfos).

Es más probable que sean paralelas a planos de mayor concentración de átomos y las direcciones más probables son paralelas a las líneas de mayor número de átomos.

En sistemas FCC hay 12 sistemas de deslizamiento.

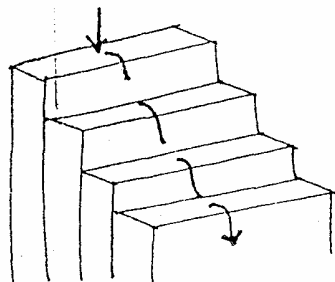
En sistemas BCC hay 48 sistemas de deslizamiento.

La ductibilidad está asociada a la facilidad de deslizamiento.

El esfuerzo cortante crítico (de las fuerzas interatómicas) es el requerido para iniciar la acción de corte en un sistema particular de deslizamiento.

El deslizamiento se produce como sucesión de movimientos de resbalamiento de capas adyacentes de átomos, unas con relación a otras.

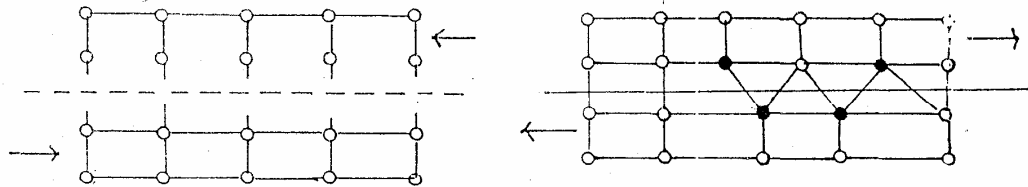
FIGURA 5: Líneas de deslizamiento



El deslizamiento se facilita para las dislocaciones.

Para provocar el deslizamiento en un cristal perfecto se requiere que los enlaces atómicos se rompan simultáneamente (a)

FIGURA 6: Rotura de enlaces atómicos



El No. de dislocaciones en cristales buenos es de $10^5/\text{cm}^2$ y en cristales deformados de $10^{12}/\text{cm}^2$.

Obstrucciones al deslizamiento:

- Límites de grano
- Átomos extraños
- Dislocaciones de sentido contrario

El trabajo en frío en conformación de metales produce endurecimiento por deformación controlada cosa que no sucede con el trabajo en caliente.

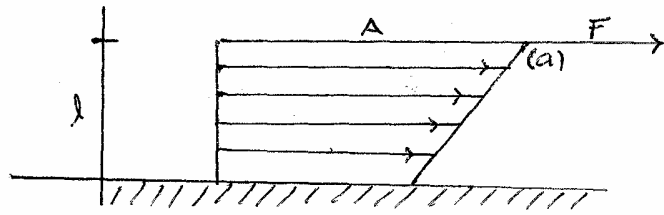
El recocido es un tratamiento térmico que sirve para eliminar los efectos del endurecimiento por deformación ya que produce un reagrupamiento de cristales.

3.1.2.2.4. Viscosidad

Determina la capacidad de fluidez de un líquido y se define como fricción interna o resistencia del líquido a escurrir o fluir.

Considerando un flujo laminar,

FIGURA 7: Flujo laminar



Al aplicar una fuerza tangencial (F) en el punto (a) del plano (A), A se mueve respecto a B acarreado con él capas paralelas del líquido que llena el espacio entre A y B.

La velocidad de las partículas es una función de la distancia (l) entre los dos planos.

La razón a que la velocidad de las partículas cambia en relación a su posición es una medida del cambio en la velocidad del flujo.

Esta razón se expresa por: dv/dl que es el gradiente de velocidad perpendicular a los planos.

La relación entre la fuerza tangencial y el gradiente de velocidad es según Newton:

$$Fs = \frac{dv}{d} \quad \frac{dv}{d\lambda} \eta = \frac{Fs}{A} = \tau$$

y como $\tau = \frac{Fs}{A}$

$$\tau = \eta \frac{dv}{d} = \eta \frac{d}{dt} ; \mu = \tau / dv/d\lambda$$

μ = Constante de proporcionalidad llamada coeficiente de viscosidad se expresa en poises o stokes.

Un líquido tiene una viscosidad de un poise o stoke si una fuerza de 1 dina produce una vel. relativa de 1 cm/seg. entre dos planos de 1 cm² situado a una distancia de 1 cm.

Al aumentar la viscosidad, la resistencia del líquido a fuerzas cortantes aumenta. A altas viscosidades esta resistencia es predominante en relación al flujo, y bajo esfuerzo prolongado estos materiales se deforman lentamente bajo cargas de corta duración se comportan elásticamente.

En un líquido Newtoniano, el trabajo realizado en el material nunca se recupera y resulta en flujo continuo.

La viscosidad es muy sensible a la temperatura.

3.1.2.2.5. Creep o escurrimiento plástico o viscoso

Deformación progresiva de un material bajo carga constante.

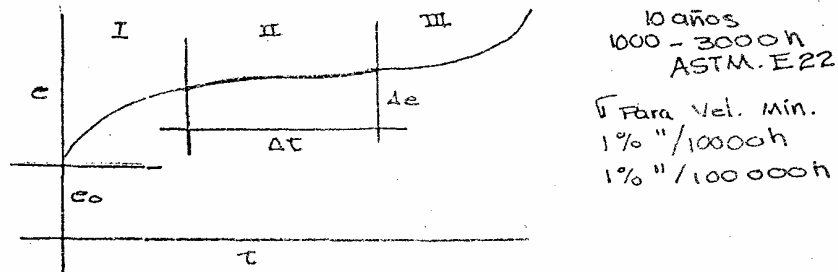
El creep se observa en metales, materiales covalente y materiales amorfos (vidrios y polímeros).

El creep se produce en los metales a altas temperaturas y en los otros materiales amorfos como plásticos, hules, es más sensible a los cambios de temperatura.

En ensayo de escurrimiento es largo y dura meses y aún años. En metales se acostumbra hacerlo en 1000 a 3000 horas, a temperaturas constantes.

Mecanismo del Creep o escurrimiento:

FIGURA 8: Creep



El creep primario es parecido al efecto de elasticidad retardada y recuperable.

En secundario se deriva del efecto de equilibrio entre el endurecimiento por deformación y el efecto reconocido o calentamiento de la temperatura y es esencialmente constante en velocidad.

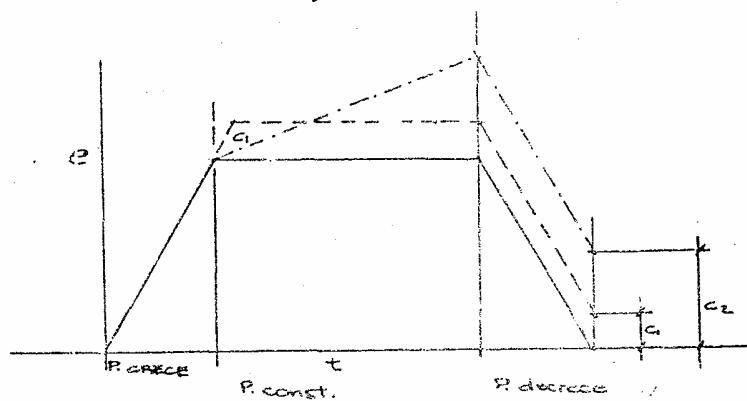
Tal terciario ocurre a un ritmo acelerado y produce deformación progresiva hasta la fractura.

Los materiales amorfos como los polimorfos, asfaltos y similares exhiben un mayor grado de deformación a bajas temperaturas y esfuerzos.

En plásticos y hules, mezclas asfálticas la adición de fibras y arena aumenta la viscosidad y se reduce la velocidad de escurrimiento.

En concreto el escurrimiento se debe a flujo de la pasta de cemento, que es de alta cohesión y viscosidad.

FIGURA 9: Comparación escurrimiento viscoso, deformación elástica y deformación plástica.



3.1.2.2.6. Fractura o rotura

La fractura o rotura denota destrucción completa de la cohesión del material resultando en la separación de una porción del mismo.

Los términos para describir la fractura son variados.

Los términos fractura dúctil y frágil describen la respuesta del material al esfuerzo o el tipo de deformación que la precede.

Los términos fibrosa y granular se refiere a la apariencia de la fractura.

Corte y clivaje describen la fractura de acuerdo a su naturaleza cristalográfica.

Transcristalina e intercristalina definen la forma en que ocurre la fractura en relación a los granos o cristales constituyentes.

Fractura dúctil y precedida de deformación plástica apariencia fibrosa.

Fractura frágil. Si el esfuerzo crítico de tensión es menor que el esfuerzo que causa la deformación plástica, apariencia lisa o granular. Las fracturas dúctil y frágil dependen respectivamente de la resistencia a corte y la cohesión (resistencia a tensión del material), la resistencia a corte es afectada por la velocidad de deformación y la temperatura. La cohesión es poco afectada.

La distribución de esfuerzos de impacto en puntos de concentración de esfuerzos puede dar lugar a fracturas frágiles en materiales dúctiles.

La presencia de defectos (grietas, oquedades intergranulares que hacen de concentradores de esfuerzos) facilitan la fractura en materiales frágiles.

En materiales muy dúctiles pequeños defectos no causan ruptura a carga estática, ya que el efecto de concentración de esfuerzos es eliminado por la deformación plástica que ocurre. A impacto, la habilidad de deformación se reduce y la concentración de esfuerzos excede la cohesión del material causando rotura frágil.

En materiales frágiles en tensión, la rotura es en un área \perp a la tensión (clivaje). En compresión puede ser a lo largo de plano de máximo corte (rotura de corte).

A temperaturas bajas la fractura tiende a ser transgranular (o a través del grano). A temperaturas altas se vuelve intergranular.

3.1.3. Conceptos de seguridad estructural de la falla de los materiales ¹²

Un material falla cuando cesa de prestar el servicio que se esperaba de él.

La falla ocurre cuando la distorsión o velocidad de distorsión se vuelve excesiva para el uso apropiado del material.

3.1.3.1. Manifestaciones de las fallas⁴⁷

- deslizamiento o fluencia
- deformación plástica
- escurrimiento plástico (viscoso)
- fractura o rotura

3.1.3.2. Causas de las fallas¹⁸

Provocada por:

- 1) Cargas o fuerzas físicas
- 2) Reacciones químicas
- 3) Interacción nuclear (radiaciones nucleares)
- 4) Otras — ataques de termitas, roedores, hongos, erosión o abrasión.

Las cargas pueden ser:

- Estáticas
- Dinámicas
 - súbitamente aplicada
 - impacto
 - fatiga (repetidas) periódica al azar

3.1.3.3. Valores que definen la resistencia a diferentes tipos de carga según el tipo de falla⁴⁷

TABLA II: Valores que definen la resistencia a diferentes tipos de carga según el tipo de falla

Tipo falla	Carga Estática	Carga Dinámica (Impacto)	Carga Repetida
Deslizamiento o fluencia	P.C. LF (kg/cm ²)	Mod. Resistencia kg* cm/cm ³	---
Escurrecimiento plástico (creep)	Lim. Escurrecimiento esf. (kg/cm ²) para no exceder un (e) límite por t y t	---	---
Fractura o Rotura	Resist. Última (kg/cm ²)	Mod. Tenacidad kg*cm/cm ³	Lim. Fatiga (kg/cm ²)

3.1.3.4. Factor de Seguridad^{32, 16}

Depende de:

1. Propiedades, estado y uniformidad de los materiales
2. Cambios régimen cargas
3. Estado de esfuerzos
4. Efectos de fabricación sobre propiedades
5. Cambios del material con el tiempo
6. Riesgo de pérdida de vidas humanas o materiales
7. Imprevistos

$$N = N1 \times N2 \times N3 \times N4 \times N5 \times N6 \times N7$$

N = 2 a 2.5 en aceros

3 a 10 en fundido

3 a 4 cuando hay peligro, corrosión aceros o concentración esfuerzos

8 a 10 mampostería

5 maderas

Esfuerzos de trabajo:

$$\sigma_w = \frac{\sigma_y}{N}$$

Donde:

σ_y = Esfuerzo

N = Factor de seguridad

3.2. Propiedades que afectan la habitabilidad⁴⁴

3.2.1. Propiedades térmicas

Todas las características que se van a ver en este apartado tienen mucha influencia en el edificio. Los cerramientos son causantes directos de estos efectos, ya que son los que controlan la temperatura y la humedad del edificio. La caída de temperatura que haya entre el edificio y el exterior dependerá del espesor del cerramiento y de su conductividad térmica.

3.2.1.1. Transmisión del calor

Este es uno de los fenómenos más importantes en los edificios. A grandes rasgos lo podemos definir como el paso de calor a través de cerramientos entre el interior del edificio y el exterior.

La transmisión del calor sigue la ley de la caída de la temperatura, el calor va de donde hay más a donde hay menos. Este flujo de calor no se puede invertir ni evitar, pero si se puede disminuir.

En la transmisión de calor entran en juego muchos factores, del material y del medio, como la rugosidad, la pigmentación, la temperatura del medio, etc.

Los procesos de conducción del calor son tres:

- Conducción
- Convección
- Radiación

Los dos primeros procesos necesitan un medio material mientras que el tercero no.

La CONDUCCIÓN se produce por contacto entre elementos, es directa y puede realizarse entre materiales en distinto estado.

La CONVECCIÓN se da únicamente entre fluidos (tanto líquido como gaseosos) y se debe al movimiento de las partículas que transportan el calor almacenado hasta que se homogeniza el fluido completo. Puede ser un proceso natural o provocado. Cuando las partículas están quietas se produce convección natural y cuando están en movimiento se produce convección forzada.

La RADIACIÓN se refiere a que todo cuerpo a temperatura superior al 0 absoluto ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) cede energía calorífica en forma de ondas electromagnéticas y tanto más cuanto mayor sea la temperatura. Esta transmisión de calor se puede realizar en el vacío, es decir, no hace falta ningún material intermedio. En este caso el calor se propaga según ondas electromagnéticas, que pueden ser:

- Ultravioletas
- Visibles
- Infrarrojas

La diferencia entre unas y otras es la amplitud de onda, y esta diferencia en la amplitud de onda es la que determina la energía cedida por el material.

3.2.1.2. Conductividad térmica

Es la mayor o menor facilidad para dejar pasar el calor del material que consideremos. En función del comportamiento de los materiales tendremos metales como buenos conductores; hormigón, ladrillo, vidrio como intermedios y corcho, piedra pómez como malos.

3.2.1.3. Dilatación

Modificación de dimensiones del material como consecuencia de variaciones de temperatura. Se define a través de un coeficiente de dilatación. Esta dilatación puede ser lineal, superficial, de volumen, etcétera. El coeficiente de dilatación también depende de la temperatura y se puede considerar constante.

3.2.1.4. Conductividad eléctrica

Es la mayor o menor facilidad que presenta el material al ser atravesado por electricidad, se mide por la resistividad. La resistividad es inversa a la conductividad, los metales son buenos conductores, el diamante y el silicio son semiconductores; en los malos conductores o aislantes no tiene porqué pasar nunca la electricidad.

3.2.2. Propiedades acústicas

3.2.2.1. Transmisión acústica

Es la velocidad con que se transmite el sonido a través de un material. La madera es uno de los materiales que mejor transmiten el sonido, siendo por ello utilizada en instrumentos musicales.

3.2.2.2. Perdidas de transmisión

Es la mayor o menor facilidad que presenta el material para dejar atravesar el sonido. La dificultad que opone el material va a ser mayor cuanto mayor sea la compacidad. El coeficiente de reducción de ruidos tiene que ver con la superficie del material, cuanto más poroso sea el material mayor absorción de ruidos habrá.

3.2.2.3. Aislamiento acústico frente a ruidos aéreos externos

El aislamiento de los materiales frente a éstos tipos de ruidos depende de su peso específico, aumentando el aislamiento conforme aumenta éste. La madera al tener un peso específico tan bajo es un aislante muy malo, siendo uno de los grandes problemas de utilización como divisor en viviendas y edificios de núcleos urbanos.

3.2.2.4. Aislamiento acústico frente a ruidos aéreos internos

Reverberación. El problema de la reverberación se produce cuando el sonido producido en una habitación ni se transmite fuera de ella, ni es absorbido por materiales existentes en su interior, rebotando de una pared a otra hasta extinguirse, causando una desagradable sensación acústica. Los materiales absorbentes del sonido son aquellos que tienen muchos poros, circunstancia que se produce en la madera, por lo que la abundancia de este material en una habitación evita la reverberación. Esta propiedad, junto con la conductividad térmica es la que han

otorgado a la madera su calificativo de material noble por la agradable sensación acústica y térmica que otorga su presencia.

3.2.2.5. Aislamiento acústico frente a impactos

El aislamiento ante este tipo de ruidos, se produce cuando el material absorbe toda la energía del impacto, mediante su deformación. En este sentido, son buenos los materiales elásticos, como es el caso de las moquetas, el corcho y en menor medida la madera.

3.2.2.6. Materiales absorbentes acústicos

Los materiales de construcción y los revestimientos tienen propiedades absorbentes muy variables. A menudo es necesario, tanto en salas de espectáculo como en estudios de grabación y monitoreo realizar tratamientos específicos para optimizar las condiciones acústicas. Ello se logra con materiales absorbentes acústicos, es decir materiales especialmente formulados para tener una elevada absorción sonora.

Existen varios tipos de materiales de esta clase. El más económico es la lana de vidrio, que se presenta en dos formas: como fieltro, y como panel rígido. La absorción aumenta con el espesor, y también con la densidad. Permite absorciones sonoras muy altas. El inconveniente es que debe ser separada del ambiente acústico mediante paneles protectores cuya finalidad es doble: proteger la lana de vidrio de las personas, y a las personas de la lana de vidrio (ya que las partículas que se podrían desprender no sólo lastiman la piel sino que al ser respiradas se acumulan irreversiblemente en los pulmones, con el consecuente peligro para la salud). Los protectores son en general planchas perforadas de Eucatex u otros materiales celulósicos. Es de destacar que

salvo las planchas perforadas de gran espesor, no tienen efecto propio en la absorción, por lo tanto las planchas perforadas aplicadas directamente sobre la pared son poco efectivas.

Otro tipo de material son las espumas de poliuretano o de melamina ($C_3H_6N_4$). Son materiales que se fabrican facetados en forma de cuñas anecoicas. Esta estructura superficial se comporta como una trampa de sonido, ya que el sonido que incide sobre la superficie de una cuña se refleja varias veces en esa cuña y en la contigua. El resultado es un aumento de la superficie efectiva de tres veces o más.

TABLA III: Hz vrs. Construcción

Construcción	Hz					
	125	200	500	1000	2000	4000
Hueco	0.05	0.10	0.36	0.72	0.51	0.80
Lana mineral compacta	0.07	0.40	0.98	0.81	0.60	1.00
Lana mineral y hueco	0.50	0.78	0.88	0.90	0.92	0.85

Fuente: CALEB, Hornbostel. Materiales para construcción.

3.2.3. Permeabilidad del agua

La permeabilidad de un material es una medida de la cantidad de gas (a una temperatura dada) que podrá difundirse a través de él por unidad de tiempo. Hasta hoy, no es posible obtener un valor absoluto de permeabilidad para cada material, ya que es afectada por las diferencias de presión, temperatura, pureza y las condiciones de superficie del material. Para determinar la permeabilidad en los materiales se hacen exámenes en condiciones ambientales controladas.

3.2.4. Higiene, comodidad y seguridad

La ciudad habitable es aquella que asegura una calidad de vida decente y oportunidad equitativa a todos los habitantes (especialmente los más desfavorecidos) así como un ambiente saludable y seguro.

El término calidad de vida se refiere a la existencia de infraestructuras comunes que mejoran el medio o entorno habitable de los hombres. Es bienestar de los seres vivos, que comprende el grado en que una sociedad ofrece la oportunidad real de disfrutar de todos los bienes y servicios disponibles. Es un concepto multidimensional, ya que abarca aspectos tan amplios como la alimentación y el abrigo junto con el sentimiento de pertenencia y de autorrealización. Este concepto es una noción tanto cualitativa, pues incluye la apreciación subjetiva de la satisfacción, como relativa y comparativa pues surge a partir de la conciencia del desnivel o diferencia significable entre individuos, grupos sociales, sectores sociales, países y regiones del mundo.

3.2.4.1. Saneamiento básico

Incluye el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial urbano y rural, dentro del cual se encuentra el sistema de tratamiento de aguas servidas, y el sistema para la recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

Servicios Públicos:

Instalaciones indispensables para el desarrollo y funcionamiento normal de la comunidad y que atiende a las necesidades colectivas de higiene, comunicación, comodidad, seguridad, saneamiento básico (agua potable,

alcantarillado, recolección de basuras, teléfono y energía eléctrica) suministrado o no por el estado.

Servicios Urbanos Básicos:

Agrupación de equipamientos destinados a la prestación de servicios y atención a los ciudadanos, en relación con las actividades de carácter administrativo o de gestión de la ciudad y los destinados a su mantenimiento. Se clasifican en los siguientes subgrupos: seguridad ciudadana, defensa y justicia, abastecimiento de alimentos y consumo, recintos feriales, cementerios y servicios funerarios, servicios de la administración pública y servicios de telecomunicaciones.

Suelo Rural: Constituido por los terrenos no aptos para el uso urbano, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas.

3.3. Durabilidad de los materiales

3.3.1. Durabilidad, envejecimiento, obsolescencia¹⁶

3.3.1.1. Durabilidad

Durabilidad es el período de vida útil de la edificación. Depende de la capacidad de los materiales y elementos constructivos para cumplir con los requerimientos previstos durante dicho período; bajo las condiciones ambientales y de servicio u ocupación normales.

Supone un mantenimiento razonable y de reposición prevista de alguna de sus partes cada cierto número de años.

La durabilidad es de carácter esencialmente económico y funcional.

3.3.1.1.1. Periodos de la durabilidad

En el análisis de la durabilidad debe diferenciarse entre el período de duración normal deseable del punto de vista técnico y económico y el período de duración de la responsabilidad legal.

Este último no debe ser un factor limitativo de la vida útil. Un factor a tomar en cuenta es el financiamiento a largo plazo, ya que se espera que la vivienda dure en condiciones aceptables por lo menos durante el período de crédito (25 - 45 años).

Es corriente el siguiente criterio de clasificación de edificaciones según su durabilidad deseable:

TABLA IV: Clasificación de edificaciones según su durabilidad

Tipo de Edificación	Vida útil (años)
Provisional	hasta 20
Duración normal	20 - 50
Durables	50 - 100
Permanentes	100

Fuente: Morales, Ing. Jorge Mario. "Materiales de Construcción", Parte1.

En la época actual y dados los adelantos tecnológicos y la natural evolución en las condiciones de vida, debería tomarse una durabilidad de 50 años. Por los gastos de mantenimiento y reposición de esta edad en adelante posiblemente es mejor reconstruir que reparar.

3.3.1.1.2. Funciones de los materiales

Los materiales y componentes de la edificación deben cumplir con su función prevista durante el período de vida útil de la edificación.

- Seguridad (estabilidad y exigencias de carácter absoluto).
- Protección de agentes externos.
- Habitabilidad y comodidad en general.

La selección de los materiales se condiciona por:

1. Sus cualidades estáticas
2. Su aptitud de resistir cargas
3. Su resistencia a agentes agresivos
4. Facilidad de uso y puesta en obra
5. Facilidad de adquisición y procedencia
6. Costo de adquisición y mantenimiento (y demolición)

El concepto de durabilidad abarca principalmente los aspectos 2) y 3) y la evaluación de la misma comprende ensayos de envejecimiento acelerado o ensayos rápidos de comportamiento de materiales bajo acciones destructivas intensas.

3.3.1.2. Envejecimiento

Se le llama así al deterioro progresivo de los materiales y componentes de la edificación, por efecto de su uso, irrespectivamente de la duración, intensidad y naturaleza de la acción sufrida (período más o menos largo; acción rápida o lenta, superficial o profunda; destructiva o leve).

Los estudios de envejecimiento acelerado son escasos y no tienen suficiente valor probatorio por la diferencia de comportamiento de los materiales en su situación normal. No obstante, dan indicaciones que permiten prever con cierto grado de confianza algunas acciones destructivas: corrosión, desgaste, reactividad química entre ciertos elementos, pudrición, heladicidad, intemperización, etc.

Los estudios de envejecimiento se llevan en el laboratorio (acelerados) o en el campo (observación directa). Los primeros son más rápidos, pero menos confiables y sus resultados deben interpretarse con amplio criterio.

Los agentes de envejecimiento son:

1. Acciones mecánicas (desgaste, choque, vibraciones)
2. Acciones físicas — (temperatura, humedad, atmosféricas o climáticas) (*)
3. Acciones químicas — Suelos y aguas agresivos reactividad entre materiales y acción de productos químicos.
4. Acciones biológicas — Hongos, bacterias, insectos.
5. Radiaciones nucleares

(*) Esta acción combina acciones de tipos 1, 2, 3 y 5.

3.3.1.3. Obsolescencia

Además del deterioro normal por el uso (envejecimiento) existe la obsolescencia provocada por el cambio de los niveles de habitabilidad (por los adelantos tecnológicos y cambios en los hábitos de vida o trabajo del usuario).

La obsolescencia no es constante ni proporcional al tiempo y es difícil medirla. Hasta hoy ha sido lenta y no del todo definitiva en cuanto a viviendas de clase media y alta. Es más rápida en cuanto a vivienda de costo, edificaciones comerciales o industriales, escuelas, etc.

3.3.2. Corrosión o destrucción de los materiales^{16, 44}

La corrosión técnicamente hablando es la destrucción de un sólido por una acción química o electroquímica que se inicia en su superficie. La definición puede aplicarse a materiales metálicos, pero en la práctica casi invariablemente se aplica a metales.

La corrosión en general es causada por el medio circundante (atmósfera, suelo, agua) y por el uso inadecuado de materiales (contacto de metales que forman un par galvánico, por ejemplo).

El principal vehículo de corrosión (en general) es el agua ayudada por la temperatura y que actúa:

- a) Disolviendo los materiales
- b) Vehículos de sustancias agresivas
- c) Como electrolito
- d) Como elemento necesario para la vida de parásitos que atacan los materiales.
- e) Ocasionando cambios volumétricos.

En materiales de albañilería y mampostería, concretos, etc. el tipo de destrucción (corrosión) es por disolución acompañada en mayor o menor grado por acciones químicas.

En metales se produce como corrosión directa por ataque químico y más frecuentemente como ataque electroquímico.

En las maderas y derivados se produce una acción de tipo biológico principalmente.

En los plásticos se producen cambios por efecto de las radiaciones solares.

3.3.2.1. Formas específicas de corrosión

1. Atmosférica:

Resultado del efecto combinado de formación y rotura de protectoras. La oxidación (corrosión directa) produce una película que reduce el ataque. Una rotura en la película puede producir ataque electroquímico si hay un medio electrolito (humedad) sobre superficie de metal. Se produce entonces una celda de concentración de oxígeno.

El factor más importante de este tipo de corrosión es la humedad del aire. El ambiente marino aumenta la conductividad del electrolito y acelera la corrosión. La resistencia de algunos metales (cromo, aluminio, níquel, acero inoxidable a este tipo de corrosión es en general buena comparada con el hierro y acero corrientes. Los metales que forman capas que dan mayor pasivación son los que resisten más.

2. Subterránea:

Llamado corrosión del suelo. Las propiedades corrosivas del suelo dependen de su acidez, grado de aireación, consalinidad y humedad. La presencia de bacterias y otros microorganismos pueden acelerar la

corrosión. La textura del suelo es importante. Una tubería en suelo arenoso o gravoso muy aireado puede oxidarse como si estuviera al aire y en función de la humedad en el suelo. En suelos saturados, la presencia de oxígeno es bajo pero puede haber microorganismos o sales o ácidos que produzcan corrosión.

Puede ocurrir ataque electroquímico por aireación diferencial entre zonas de suelo (rellenos de zanjas de tuberías).

El atravesar zonas de diferentes estratos de suelo puede provocar celdas de concentración.

3. Microbiológica:

Causada por microorganismos que son aeróbicos o anaeróbicos.

Los más importantes son:

- 1) Bacterias reductoras de sulfatos
- 2) Bacterias reductoras de azufre
- 3) Bacterias reductoras de hierro manganeso
- 4) Bacterias que forman películas microbiológicas

Las bacterias reductoras de sulfatos son anaeróbicas y pueden causar corrosión del hierro y acero. Requieren de sulfatos y otros nutrientes y de un pH de 5 a 9 así como temperaturas de 25— 30°C.

El proceso consiste en una ionización del Fe en el agua con producción de iones de H. La bacteria reduce los sulfatos y forma H₂S el cual forma sulfuro de hierro. Además el ión Fe con el (OH⁻²) de la disposición del agua forma Fe (OH)₂

Las bacterias de azufre—oxidan el azufre y forman ácido sulfúrico que ataca el Fe. Esta bacteria crece en ambientes de pH de 0 a 1.

Las bacterias de Fe y Mn son aeróbicas y toman iones de Fe y Mn en presencia de oxígeno formando hidratos insolubles de Fe y óxido de Mn. Estas bacterias crecen en ambiente de pH de 4 a 10 y temperatura de 40-105°F. La corrosión de este tipo forma tubérculos de óxidos o Hidratos y produce además ataque electroquímico por celdas de concentración diferencial de oxígeno.

Películas microbiológicas por adherencia de hongos, bacterias, algas, mantienen gradientes en la concentración de electrolitos y producen celdas de concentración locales.

4. Corrientes parásitas:

Ocurre en elementos metálicos sumergidos o enterrados.

En este tipo de corrosión, la corriente no proviene del metal en si, sino de una fuente externa que se filtra o induce de algún circuito eléctrico cercano y se transmite por la tierra o por los elementos metálicos enterrados. Los puntos donde la corriente sale del elemento metálico al electrolito se vuelven anódicos y allí se ioniza al metal, y los puntos donde entra la corriente se vuelven catódicos.

La conductividad eléctrica de los suelos puede acelerar este tipo de corrosión. La presencia de oxígeno y la temperatura afectan la intensidad de las corrientes parásitas.

3.3.2.2. Otras formas de corrosión

1. Uniforme - abarca uniformemente toda el área expuesta del metal.
2. Picaduras - localizada en grietas, agujeros de la superficie metálica roturas capas protectoras. Se forman celdas de concentración de oxígeno.
3. Corrosión ínter granular - ocurre a lo largo de límites de grano que se vuelven anódicos. Los metales de grano fino son más propensos a oxidarse que los de grano grueso, por tener área de límites de grano.
4. Erosión -corrosión- Combinación de erosión mecánica con algún mecanismo de corrosión en casos de flujo turbulento de gases y líquidos o por fricción o frotamiento de sólidos sobre la superficie metálica. La causa principal es la rotura de películas protectoras.
5. Corrosión por esfuerzo - efecto combinado de esfuerzos de tensión y ambiente corrosivo. El esfuerzo puede ser residual o aplicado. Algunas fallas se deben a esfuerzos residuales por tratamientos térmicos, soldaduras, enfriamiento diferencial, etc. Dan por resultados un ataque localizado en la zona reforzada que se convierte en ánodo. Puede aumentar el ataque por presencia de grietas existentes o formadas por el estado de esfuerzo o corrosión inicial. La deformación debida al esfuerzo evita la formación de película protectora, aumenta la corrosión, la grieta, la concentración de esfuerzo, hasta que ocurre la fractura tipo frágil en materiales. La fragilización cáustica en calentadores de agua, causada por ataque al acero.
6. Corrosión selectiva - llamada descincificación ocurre

en latones de alto contenido de cinc expuesto a agua caliente o a soluciones débiles de ácidos. El cinc y el cobre se ionizan, pero el cobre, se deposita de nuevo casi en su mismo lugar mientras el cinc permanece en la solución. La concentración de iones de cobre del ánodo resulta en una celda de contratación que deposita iones sobre la superficie. Estos iones de cobre tienden a funcionar como cátodo en una celda galvánica formada por esta deposición de cobre y el resto de la superficie. En esta forma continúa la ionización y separación de cinc, en presencia de hidróxido de sodio y temperatura elevada es una forma de esta corrosión. Otro caso especial es la corrosión con fatiga de combinación de ambiente corrosivo y ciclos de esfuerzos variables.

7. Corrosión por tratamiento térmico - alteración de micro estructura y propiedades de corrosión de los granos y esfuerzos inducidos.

3.3.2.3. Protección contra la corrosión

1. Selección apropiada de metales o aleaciones de los mismos mas resistentes a la corrosión.
2. Recubrimiento orgánico o inorgánicos: Proporcionan protección por exclusión de aire, humedad y otros medios corrosivos. Los orgánicos se descomponen a temperaturas elevadas o se destruyen por erosión. Los inorgánicos principalmente cerámica y vidriados son resistentes a la temperatura y el desgaste, pero son frágiles al choque mecánico o térmico.

Los recubrimientos metálicos-electrolíticos por inmersión o aspersion de metal fundido, son muy adecuados especialmente si dan protección catódica adicional.

3. Evitar pares galvánicos. Uso de piezas de un mismo metal o de metales que sean menos susceptibles a oxidarse o formar pares galvánicos.
4. Protección galvánica (o catódica)
 - a) Usar materiales anódicos protectores.

a.1 Acero galvanizado	a.3 En ataques de agua
a.2 En barcos	a.4 En tuberías enterradas.
 - b) Usar un voltaje impreso para hacer catódico el metal
5. Inhibidores de corrosión - productos químicos que vuelven inerte el medio corrosivo o que reaccionan con el metal formando pasivación. (cromatos, fosfatos, tungstetos e iones de elementos de transición que se absorben fácilmente en la superficie metálica, son los mejores).
6. Tratamientos especiales aceros - para evitar la corrosión por esfuerzo. Trabajo en frío superficial que inducen esfuerzos de compresión (acero con Al en atmósfera de amoníaco a 950°F. el N se difunde en el metal y precipita como nitruro de Aluminio). La corrosión por esfuerzo se produce en tensión y en combinación con medio corrosivo.
7. Uso de aire acondicionado - sellado de espacios seguido de eliminación de humedad e inyección de aire seco. (preservación de barcos y aviones después de la II Guerra Mundial).

3.3.3. Resistencia al desgaste o abrasión^{47, 11, 6}

El desgaste es la remoción de sólidos de las superficies de los materiales por acciones físico-mecánicas (abrasión, erosión) y acciones químicas (corrosión). No hay relación entre desgaste y coeficiente de fricción aunque a mayor valor de este último puede causarse un mayor desgaste. El desgaste depende de la naturaleza y condición de superficies en contacto y de las fuerzas físicas o químicas actuantes.

3.3.3.1. Tipos generales de desgaste

Adhesivo - resultante de la interacción entre dos superficies metálicas adherentes. Metales disímiles así como aquellos que producen mayor adhesión son los más afectados. El uso de lubricantes lo disminuye.

Abrasivo - remoción de partículas sólidas por rayado o indentación, provocada por un cuerpo más duro que la superficie desgastada. Este tipo de desgaste se incrementa por suciedad y la inclusión de partículas duras entre las superficies. En maquinaria industrial este es el tipo de desgaste más generalizado. En Ingeniería Civil, se presenta también este tipo de desgaste, en pisos, carreteras, estructuras hidráulicas, etc.

Desgaste corrosivo - combinación de desgaste en ambiente corrosivo (acción de fuerzas mecánicas y químicas).

3.3.3.2. Fricción

La fricción es la fuerza resistente al deslizamiento tangencial a la superficie entre dos cuerpos, que tienden a moverse uno sobre el otro.

La fuerza para iniciar el movimiento se llama fricción estática y la necesaria para mantener el movimiento fricción cinética.

3.3.3.2.1. Fricción al deslizamiento

$$A = \frac{W}{y}$$

A = Área contacto

W = Carga

y = Presión que causa deformación plástica del material

La fuerza friccionante para producir corte en las uniones y provocar el deslizamiento es:

$$F = na$$

$$F = \frac{W}{y}$$

F = Fuerza de corte por unidad de área, n veces el área A

El coeficiente de fricción es la relación entre la fuerza horizontal y la carga normal.

$$f = \frac{F}{W} = \frac{w}{yw} = \frac{1}{y}$$

La relación anterior indica que el coeficiente de fricción es proporcional a la resistencia al corte e inversamente proporcional al esfuerzo de deformación plástica. En dos materiales que se deslizan entre sí la T y G y que se toman son los del más suave. El coeficiente de fricción estática es mayor que el de fricción dinámica.

En la práctica se producen efectos de hincamiento o indentación y de entrelazamiento de irregularidades; de modo que la fuerza total durante el deslizamiento es:

$$F_t = F_s + P + I$$

P = efecto de hincamiento

I = efecto de entrelazamiento de irregularidades

El efecto I es bajo y es más intenso el P dependiendo de la diferencia de dureza entre las superficies.

El efecto P disminuye con el pulido.

3.3.3.2.2. Fricción a la rodadura

La resistencia a fricción de una esfera o cilindro bajo una carga aplicada a su centro es proporcional a la carga e inversamente proporcional al diámetro según la regla empírica:

$$F_r = K \frac{W^n}{D^m}$$

W = Carga

D = Diámetro de cilindro o esfera

K = Constante que depende del material

El coeficiente de fricción es:

$$f_r = \frac{F_r}{W}$$

El coeficiente es bajo comparado con el de fricción al deslizamiento y es prácticamente igual para fricción estática y cinética.

3.3.3.3. Adhesión y fricción

La experiencia demuestra que ambas son del mismo orden de magnitud y son gobernadas por la naturaleza de películas superficiales en las superficies deslizantes.

Los metales al aire se recubren de películas de óxido o gas absorbido que hacen que su coeficiente de fricción raramente exceda de 1 a 1.5.

En las superficies perfectamente limpias puede la fricción alcanzar valores muy altos.

Entre dos metales puros iguales hay mayor adhesión y fricción que entre dos metales disímiles. Las superficies suaves y dúctiles exhiben alta adhesión y fricción. Los metales duros no son adherentes a temperatura ordinaria, aunque pueden alcanzar coeficientes de fricción altos.

En los plásticos la adhesión y fricción es alta de 0.3 a 0.5.

La fricción produce temperatura que puede llegar a la de ablandamiento o fusión produciendo soldaduras entre los materiales.

La generación de calor se produce en un proceso auto acelerado. La temperatura controlada puede usarse para producir superficies pulidas.

3.3.3.4. Lubricación

La lubricación tiene el propósito de interponer películas entre las superficies móviles para reducir la fricción, reducir el desgaste y los daños a las superficies deslizantes.

La lubricación se efectúa en dos formas llamadas de superficie y la hidrodinámica.

La hidrodinámica involucra la separación de las superficies por una capa gruesa de lubricantes. El coeficiente de fricción se vuelve muy bajo 0.001 a 0.01 y depende de la naturaleza del lubricante.

La de superficie ocurre cuando la capa de lubricante es muy fina en comparación con las asperezas e irregularidades superficiales.

Entre estos extremos ocurren grados de lubricación intermedios.

En la operación de mecanismos se tiende a obtener una lubricación hidrodinámica completa, pero en la práctica siempre hay cierto grado de lubricación de superficies, especialmente en arranques o paradas de maquinaria, por lo que hay que usar materiales que den lubricación de superficie adecuada (impiden adhesión entre superficies móviles).

Los lubricantes también requieren aditivos para resistir el calor por fricción.

Tipos de lubricantes-enfriamiento, sellado y prevención para resistir el calor por fricción:

Aceites y grasas orgánicas o inorgánicas - Viscosidad.

Materiales inorgánicos sólidos - grafito, sulfuro de molibdeno, talcos.

Películas de metales suaves sobre metales duros. (Disminuyen el corte pero mantienen la dureza superficial.

El área de contacto permanece constante aún a altas presiones y la fricción será baja). (Cojinetes y chumaceras)

3.3.4. Estabilidad dimensional^{16, 44}

La mayoría de los materiales de construcción cambian de tamaño a lo largo del tiempo debido a su absorción de humedad, cambios en la temperatura y acción de cargas. Estos movimientos aparentemente pequeños son los que causan tensiones dentro de los materiales y que pueden conducir al fisuramiento de los mismos.

Para evitar estas fisuras, deben idearse diseños que minimicen, acomoden o prevengan estos movimientos. Juntas, fijaciones y refuerzos de acero son algunos de los sistemas generalmente empleados con el objeto de resolver estos problemas.

La estabilidad dimensional de los materiales depende de varios factores que son: la temperatura ambiente, el adhesivo utilizado y el formato. Con las variaciones de temperatura, aunque no pueda llegar a percibirse visualmente, los materiales se dilatan-contraen. Estas juntas, permiten amortiguar posibles tensiones tanto durante el asentamiento de la estructura como del fraguado del adhesivo.

3.3.4.1. Coeficiente de dilatación

Se denomina coeficiente de dilatación al cociente entre la diferencia de longitud y la diferencia de temperatura que experimenta un cuerpo por esta causa.

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

Puede ser usado para abreviar este coeficiente tanto la letra griega alfa α como la letra lambda λ .

TABLA V: Algunos coeficientes de dilatación

Material	α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Concreto ~	1.0×10^{-5}
Hierro, acero	1.2×10^{-5}
Plata	2.0×10^{-5}
Oro	1.5×10^{-5}
Invar	0.04×10^{-5}
Plomo	3.0×10^{-5}
Zinc	2.6×10^{-5}
Aluminio	2.4×10^{-5}
Latón	1.8×10^{-5}
Cobre	1.7×10^{-5}
Vidrio ~	0.7×10^{-5}
Cuarzo	0.04×10^{-5}
Hielo	5.1×10^{-5}

Fuente: ENCICLOPEDIA de las Ciencias. México: Editorial Cumbre S.A., 1987.

3.3.5. Intemperización^{44, 47}

3.3.5.1. Intemperización mecánica

La intemperización mecánica o física consiste en la ruptura de las rocas a causa de esfuerzos externos e internos causados por los meteoros. Son sinónimos, y más exactos, los términos de disgregación y fragmentación. La disgregación implica la ruptura de la roca en fragmentos más o menos grandes y angulosos pero sin modificación de la naturaleza mineralógica de la roca. Los calibres pueden ir desde la arcilla, a la marga, el limo, la arena y hasta los fragmentos de varios metros.

La superficie de meteorización puede realizarse en capas, exfoliación, o grano a grano, desagregación granular.

Los procesos más importantes son: termoclastia, gelifración, hidroclastia, haloclastia y corrosión.

3.3.5.1.1. Termoclastia

La termoclastia consiste en la fragmentación de la roca debida a los cambios de temperatura bruscos. Las dilataciones y las contracciones producidas por los cambios de temperatura producen tensiones en las rocas que terminan por romperla.

Para que se produzca esta ruptura son necesarios cambios bruscos en períodos muy cortos de tiempo, como los que se dan en los desiertos áridos, pero también rocas cuyo color y textura permitan una absorción y disminución de la radiación calorífica. Además deben tener una composición mineralógica que permita diferencias de dilatación y contracción, para que las tensiones sean efectivas.

3.3.5.1.2. Gelifración o crioclastia

La gelifración consiste en la fragmentación de la roca debida a las tensiones que produce la congelación y descongelación del agua en los huecos que presenta la roca. El aumento de volumen que produce el agua congelada sirve de cuña, lo que termina por romper la roca. Esto quiere decir que para que la gelifración funcione es necesario que existan frecuentes ciclos de hielo-deshielo lo que ocurre en las latitudes medias con procesos de tipo periglacial. En las latitudes altas con procesos de tipo glacial estas alternancias no se dan, ya que el período de congelación dura meses.

La eficacia de la gelifración depende de la naturaleza de la roca y puede pulverizarla en granos de tamaño limo, microgelifración, o en bloques grandes y angulosos, macrogelifración.

3.3.5.1.3. Hidroclastia

La hidroclastia consiste en la fragmentación de la roca debida a las tensiones que produce el aumento y reducción de volumen de determinadas rocas cuando se empapan y se secan. Normalmente, en este mecanismo la arcilla tiene una importancia decisiva.

Los ciclos de humectación y secado son más lentos que los de hielo deshielo, pero más persistentes. La presión ejercida por la arcilla húmeda persiste mientras esté húmeda. Durante la fase seca la arcilla se cuarteo, presentando debilidades que pueden aprovechar otros agentes erosivos.

En función del tamaño de los fragmentos podemos distinguir la macrohidroclastia, en regiones que alternan arcillas masivas y calizas o areniscas y que presentan cuarteamientos muy grandes, y la microhidroclastia, en regiones de rocas cristalinas con algún grado de alteración, y que forma limos.

3.3.5.1.4. Haloclastia

La haloclastia consiste en la fragmentación de la roca debida a las tensiones que provoca el aumento de volumen que se producen en los cristales salinos. Estos se forman cuando se evapora el agua en las que están disueltos. Las sales, que están acogidas en las fisuras de las rocas, presionan las paredes, a manera de cuña, hasta romperlas. En realidad no son los cristales formados los que ejercen

la presión suficiente para romper la roca, si no el aumento de volumen de los cristales al captar nuevos aportes de agua, que hacen crecer el cristal.

La haloclastia sólo funciona en los países altamente salinos y áridos, es decir en las franjas litorales y en las regiones muy áridas. El mecanismo es muy similar a la gelifracción, aunque su ámbito de incidencia es menor.

Debido al reducido tamaño de los cristales salinos este mecanismo apenas tiene importancia en las rocas con fisuras, sin embargo es muy efectivo en las rocas porosas, por lo que el material que se forma es de pequeño calibre: arenas, limos, margas y arcillas.

3.3.5.1.5. Corrosión

La corrosión implica denudación, es decir fragmentación y transporte del material, así que también se considera un agente de transporte (corrosión eólica); no obstante, aquí explicaremos el mecanismo de fragmentación de la roca.

La corrosión es un proceso de erosión mecánica producido por golpes que producen los materiales que transporta un fluido (aire, agua o hielo) sobre una roca sana. La reiteración de los golpes termina por fragmentar tanto la roca sana como el proyectil. El resultado es la abrasión (desgaste por fricción) de la roca y la ablación (cortar, separar y quitar) de los materiales.

3.3.5.2. Intemperización química

La intemperización química es un proceso que consiste en la descomposición o rotura de las rocas por medio de reacciones químicas.

La descomposición se debe a la eliminación de los agentes que cementan la roca, e incluso afectan a los enlaces químicos del mineral. Es posible que en el proceso, y debido a las reacciones químicas, se formen materiales nuevos. El calibre de los materiales se siempre muy reducido: arcillas, margas, limos, arenas. Su acción es muy notable en la formación del relieve de rocas masivas, cárstico, rocas metamórficas y volcánicas.

3.3.5.2.1. Disolución

La disolución (solución o corrosión) es un proceso físico que consiste en la disociación de las moléculas en iones gracias a un agente disolvente, en nuestro caso el agua. Este proceso no implica ninguna transformación en la composición química del material disuelto. Una vez disueltos los materiales se precipitan al desaparecer el agente disolvente. Frecuentemente esta precipitación se hace en el mismo lugar de la disolución.

Podemos diferenciar dos tipos de disolución: la disolución, propiamente dicha, que afecta a las evaporitas, y la disolución cárstica (o carbonatación), propia de las rocas carbonatadas y que es responsable del relieve cárstico. La disolución cárstica conlleva la existencia de agua acidula (que lleva en disolución ácido carbónico) que ataca a rocas que contengan calcio, sodio, potasio y, en general, óxidos básicos. La formación del relieve cárstico implica un proceso muy complejo que combina otras reacciones químicas o físicas. En general consta de tres etapas: la disolución directa por acción del agua, la acción química del ácido carbónico (hasta consumirse), que produce bicarbonato cálcico y la captación de nuevo gas carbónico para repetir las dos primeras fases. La disolución cárstica presenta

una eficacia diferente dependiendo de la temperatura y la humedad ambiental, así como de la cubierta vegetal.

Tras la disolución aparecen residuos insolubles, residuos de disolución, como la arena y la arcilla de descalcificación: terra rossa o arcillas con sílex. Los elementos disueltos también pueden precipitar tras una migración. Estas acumulaciones pueden ser notablemente potentes y forman costras, como los encostramientos de las estepas semiáridas, y las corazas y caparazones de las sabanas.

3.3.5.2.2. Alteración

La alteración es un proceso químico que consiste en la transformación total o parcial de las moléculas en iones gracias a un agente disolvente, en nuestro caso el agua y el aire. Este proceso implica una transformación en la composición química del material disuelto, por lo que encontramos minerales de neoformación. Puede alcanzar profundidades notables, hasta 30 metros, alteración profunda, en los que aparecen regolitos, formados sobre todo por arcillas y conocidas como mantos de alteración o alteritas. Los productos resultantes tienen calibres muy pequeños, que pueden ir desde el tamaño granular hasta los coloides. Las alteritas en las que predominan las pizarras son más arcillosas y en las que predominan las areniscas y los granitos más arenosas.

Tres son los mecanismos básicos de alteración: oxidación, hidratación e hidrólisis.

3.3.5.2.2.1. Oxidación

El proceso de oxidación se produce por el contacto del aire con las rocas en cuya composición entra minerales que se pueden combinar con el oxígeno: férricos, carbonatos, sulfuros, etc. para formar óxidos e hidróxidos. Es el mecanismo de alteración más generalizado, pero el de menor transcendencia morfológica, ya que no penetra más que unos milímetros.

Las rocas oxidadas presentan una patina superficial, del color de oxidación del mineral (rojo en la rubefacción del hierro), que favorece los mecanismos de desagregación y fragmentación.

3.3.5.2.2.2. Hidratación

La hidratación afecta a las rocas por minerales cuyos compuestos reaccionan con el agua fijando sus moléculas. Afecta a rocas con un metamorfismo débil (esquistos, pizarras) compuestas por silicatos aluminicos que al hidratarse se transforman en arcillas, más sensibles a los agentes erosivos.

También afecta a algunas evaporitas, como la anhidrita que se transforma en yeso.

La hidratación es más eficaz cuanto mayor es la humedad y la temperatura, y la existencia de una cobertura vegetal.

3.3.5.2.2.3. Hidrólisis

La hidrólisis es el principal tipo de alteración, el proceso que más transcendencia tiene en la formación del relieve de las rocas metamórficas y el que más profundamente ataca a las rocas.

La hidrólisis es un proceso químico que consiste en el desdoblamiento de una molécula en presencia del agua (concretamente los iones H^+ , que hacen que el agua se comporte como un ácido débil). La consecuencia es la destrucción de los edificios cristalinos, dando lugar a la progresiva separación y lavado de la sílice, la mica, los feldespatos y cualquier otro elemento que componga la roca. Como consecuencia se forman minerales arcillosos y residuos metálicos arenosos.

Podemos distinguir tres grados de alteración hidrolítica, en función de las características de la argilización. En el primer grado se forman arcillas montmorilloníticas, caracterizadas por la presencia de complejos silicatos alumínicos y sílice. Son de color ocre o rojo y muy plásticas, por lo que absorben grandes cantidades de agua, lo que hace aumentar su volumen. En el segundo grado se forman arcillas caoliníticas, caracterizadas por la escasez de sílice y la neoformación de arcillas claras, que tienen una menor capacidad de absorción de agua. El caolín es la arcilla y la caolinita el silicato alumínico hidratado. El tercer grado consiste en la laterización, cuando se ha eliminado totalmente el sílice y en las arcillas se concentran elementos residuales en forma de hidróxidos de aluminio y hierro, los cuales pueden formar corazas de gran consistencia (lateritas). Se trata de una arcilla endurecida, como un ladrillo muy frecuente en los países tropicales húmedos.

3.3.6. Dureza^{11, 16}

La dureza es una propiedad fundamental de los materiales y está relacionada con la resistencia mecánica. La dureza puede definirse como la

resistencia de un material a la penetración o formación de huellas localizadas en una superficie. Cuanto mas pequeña sea la huella obtenida en condiciones normalizadas, mas duro será el material ensayado. El penetrador en un ensayo de dureza es generalmente una esfera, pirámide o cono hecho de un material mucho mas duro del que se ensaya, como por ejemplo acero endurecido, diamante o carburo de tungsteno sintetizado.

En la mayoría de las pruebas patrón, la carga se aplica al oprimir lentamente el penetrador, perpendicularmente a la superficie ensayada, por un periodo determinado. De los resultados obtenidos se puede calcular un valor empírico de dureza, conociendo la carga aplicada y el área de la sección transversal o la profundidad de la impresión. El ensayo de dureza nunca se debe realizar cerca del borde de la muestra o cerca de otra penetración ya existente. En este ultimo caso, la distancia mínima para efectuar una penetración es de tres veces el diámetro de la penetración anterior. Otra condición, es que el espesor de la probeta a ensayar, sea de por lo menos $10 \frac{1}{2}$ veces el diámetro de la impresión, con el fin de evitar el efecto yunque (brinell).

Las penetraciones microscópicas de dureza se hacen empleando cargas muy pequeñas y se usan para estudiar variaciones localizadas de dureza en materiales monofasicos y multifasicos (aleaciones), así como para medir la dureza de granos metálicos.

La mayoría de las pruebas de dureza producen deformación plástica en el material y todas las variables que influyen en la deformación plástica la afectan; por ejemplo, ya que el esfuerzo de cedencia se ve afectado considerablemente por la cantidad de trabajo en frío y el tratamiento térmico al que se halla sometido el material, la dureza se vera afectada por los mismos factores. En aquellos materiales que muestran características

similares de endurecimiento por trabajo, existe una válida correlación entre la dureza y la resistencia máxima a la tensión. La prueba de dureza puede hacerse muy fácilmente y la información obtenida se evalúa inmediatamente. Por estas razones y por su carácter no destructivo, se emplea frecuentemente para control de calidad en producción.

Además de la resistencia a la penetración, otros métodos de medición de la dureza pueden basarse en el raspado de la superficie o en la medición del rebote elástico de una pelota dura.

3.3.6.1. Número de dureza brinell (BHN)

Este ensayo se utiliza en materiales de durezas bajas. Utiliza penetradores en forma de bolas de diferentes diámetros; estos pueden ser de acero templado o de carburo de tungsteno. Utiliza cargas normalmente hasta 3000 kilogramos, las cuales se pueden normalizar.

La carga se aplica durante 30 segundos y luego se retira. Inmediatamente se lee en milímetros el diámetro de la impresión. Es válido anotar que las cargas más livianas corresponden a materiales no ferrosos y puros, tales como cobre y aluminio; las cargas más pesadas se utilizarán para el hierro, acero y aleaciones duras.

3.3.6.2. Ensayo de dureza rockwell

Se aplica a materiales más duros que la escala brinell. En este ensayo se usan penetradores de carburo de tungsteno como bolas de 1/16 de pulgada, 1/8, 1/4 y 1/2 de pulgada, este último para materiales más blandos y en cono de diamante cuyo ángulo en la base es de 120°.

Ensayo rockwell diseñado para materiales de dureza intermedia como aceros de medio y bajo carbono. Su indentador es la bola de 1/16 de pulgada, cuya carga es de 100 kilogramos. Su escala va de 40 a 100 r_b .

Ensayo rockwell se emplea en materiales mas duros que 100 r_b . El funcionamiento de este ensayo es como sigue: el observador primero acciona una palanca que presiona el cono de diamante a una pequeña distancia establecida dentro de la probeta. Esto se conoce como la "precarga" (10 kg). En seguida, se deja actuar la carga r_c normalizada de 150 kilogramos, que presiona aun mas el diamante dentro de la probeta. Luego, con la misma palanca se quita la carga. En este momento se lee la dureza r_c en la escala y luego, se descarga la palanca. El principio de este ensayo, esta en que a través de un sistema de palancas se registra en la escala la profundidad de penetración entre la precarga y la carga de 150 kilogramos y se lee directamente en r_c .

3.3.6.3. Ensayo vickers

Llamado el ensayo universal. Sus cargas van de 5 a 125 kilogramos (de cinco en cinco). Su penetrador es pirámide de diamante con un ángulo base de 136° . Se emplea vickers para laminas tan delgadas como 0.006 pulgadas y no se lee directamente en la maquina.

Este ensayo constituye una mejora al ensayo de brinell. Se presiona el indentador contra una probeta bajo cargas mas livianas que las utilizadas en el ensayo brinell. Se miden las diagonales de la impresión cuadrada y se halla el promedio para aplicar la formula antes mencionada.

4. MICROESTRUCTURA DE LOS MATERIALES

4.1. Constitución y propiedades de la materia²⁷

4.1.1. Constitución de la materia

Supongamos que cualquier sustancia de la naturaleza la dividimos en partes cada vez más pequeñas, conservando cada una de ellas las propiedades de la sustancia inicial.

Si seguimos dividiendo esta sustancia en fragmentos aún más pequeños, llegará un momento en que cada una de estas partes será indivisible, puesto que de efectuar una división más la porción dividida perderá las propiedades de dicha sustancia. Se habrá llegado, entonces, a dividir la sustancia en moléculas.

La materia está compuesta por moléculas, siendo la molécula la parte más pequeña en la que se puede dividir una sustancia sin perder su naturaleza y propiedades.

A su vez, una molécula está compuesta por átomos. Cada uno de ellos posee unas propiedades diferentes en el seno de la molécula que constituyen.

4.1.2. Propiedades de la materia

La materia posee diversas propiedades mensurables y no mensurables. Éstas se pueden dividir en dos grupos:

- Propiedades generales: no permiten la identificación de la clase de materia (sustancia). Por ejemplo: la inercia y la extensión (mensurables); la impenetrabilidad (no mensurable).
- Propiedades características o específicas: permiten identificar la sustancia. Por ejemplo: el peso específico (relación entre el peso y el volumen —medidas de la inercia y la extensión de un cuerpo o porción de materia—); el sabor (no mensurable).

4.1.2.1. Propiedades generales

4.1.2.1.1. Gravitación

Es la propiedad de los cuerpos que se manifiesta por su peso. La gravitación es una propiedad mensurable: los cuerpos se pueden ponderar (pesar). La medida de la gravitación es el *peso*, que se determina por la capacidad del cuerpo de gravitar sobre un resorte: cuanto más se estira el resorte, mayor es el peso. Para los cuerpos que se estudian en condiciones de gravedad constante, el peso es también una medida de la inercia.

4.1.2.1.2. Inercia

Es la propiedad de los cuerpos que hace que éstos tiendan a conservar su estado de reposo o de movimiento. La inercia es una propiedad mensurable. Su medida se llama masa.

4.1.2.1.3. Divisibilidad

La materia puede ser dividida. Las porciones de materia se llaman cuerpos.

4.1.2.1.4. Extensión

Es la propiedad de la materia de ocupar un lugar en el espacio. La extensión es una propiedad mensurable para las porciones de materia (cuerpos). El nombre de la medida de la extensión es tamaño o volumen.

4.1.2.1.5. Impenetrabilidad

Cuando un cuerpo ocupa cierto lugar, ese lugar no puede ser ocupado simultáneamente por otro. A las partes de un cuerpo no se le pueden asignar las mismas coordenadas que a las partes de otro.

4.1.2.2. Propiedades características o específicas

4.1.2.2.1. Estado físico

En condiciones dadas, cada sustancia se encuentra en alguno de los estados de agregación de la materia: sólido, líquido o gaseoso.

4.1.2.2.2. Puntos de cambio de estado

Son las temperaturas a las cuales las sustancias cambian de un estado de agregación a otro. La temperatura a la cual se produce el cambio del estado líquido al estado de vapor se llama punto de ebullición; la temperatura a la cual se produce el cambio del estado sólido al estado líquido se llama punto de fusión; y la temperatura a la cual se produce el cambio del estado sólido al estado gaseoso se llama punto de sublimación.

4.1.2.2.3. Densidad

Es la propiedad que da la relación entre la inercia de los cuerpos de una cierta sustancia y su extensión. Dado que estas dos propiedades generales son mensurables y sus medidas son la masa y el volumen, la densidad se define por medio de la siguiente fórmula: $d = m / V$.

4.1.2.2.4. Color, olor y sabor

Muchas sustancias tienen un color, un olor y un sabor característicos que las hacen fácilmente identificables. Por ejemplo: por su olor, podemos distinguir el cloro del amoníaco; por su color, el oro de la plata; por su sabor, el azúcar de la sal.

4.1.2.2.5. Capacidad de dilatación y contracción

Es la propiedad de las sustancias de cambiar de tamaño con la temperatura. La capacidad de dilatación y contracción es una propiedad mensurable. Su medida se llama coeficiente de dilatación (esta expresión abarca a la dilatación propiamente dicha y a la contracción o dilatación negativa).

4.1.2.2.6. Elasticidad

La elasticidad es la propiedad de las sustancias que hace que los cuerpos tiendan a recuperar su forma.

4.1.2.2.7. Dureza y tenacidad

La dureza es la resistencia que opone un cuerpo de una sustancia a ser rayado. La tenacidad es la resistencia que opone a ser roto o partido.

4.1.2.2.8. Capacidad de conducir el calor y la electricidad

Los cuerpos de algunas sustancias tienen la propiedad de conducir el calor o la electricidad. Los que tienen esa propiedad se llaman conductores; los que no, aisladores. Estas propiedades son mensurables y sus medidas se llaman, respectivamente, conductividad eléctrica y conductividad térmica.

4.2. Organización atómica de la materia^{21,17,7}

La materia es "aquello que constituye la sustancia del universo físico. A diferentes temperaturas puede presentar diferentes fases, pero cualquiera que sea su forma, está constituida por las mismas entidades básicas, los átomos.

4.2.1. El átomo

La materia está constituida por partículas indivisibles por métodos químicos convencionales, llamadas átomos. La evolución de la historia del átomo, desde la idea simplista del átomo de John Dalton, hasta nuestros días, queda reflejada en la siguiente tabla.

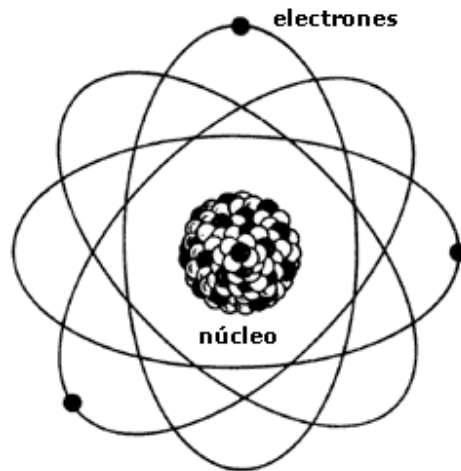
TABLA VI: Descubrimiento de las partículas fundamentales

Año	Científico	Descubrimiento
1897	J.J. Thomson (1856-1940)	Demostró la existencia de los electrones dentro de los átomos. Dedujo que el átomo debía ser una esfera de materia cargada positivamente, en cuyo interior estaban incrustados los electrones. Modelo atómico de Thomson.
1911	E.Rutherford (1871-1937)	Demostró que los átomos no eran macizos, sino que estaban vacíos en su mayor parte. En su centro (núcleo) residían los protones, partículas con carga idéntica a los electrones, pero positivas. Pensó que los electrones, en número igual al de los protones, debían girar alrededor del núcleo en órbitas circulares. Modelo atómico de Rutherford.
1913	N. Bohr (1885-1962)	Propuso un nuevo modelo atómico en el que los electrones giraban alrededor del núcleo en unos niveles bien definidos, donde dichos niveles sólo podían albergar un número limitado de electrones. Modelo atómico de Bohr.
1932	J. Chadwick (1891-1974)	Descubrió una nueva partícula fundamental en los átomos, el neutrón, partícula sin carga eléctrica, con masa muy parecida a la de los protones y que se encontraban también en el núcleo.

FUENTE: ENCICLOPEDIA de las Ciencias. México: Editorial Cumbre S.A., 1987.

La pequeñez de los átomos embota la imaginación. Los átomos son tan pequeños que pueden colocarse unos 10⁸, o sea 100 millones de ellos, uno después de otro, en un centímetro lineal. Su radio es del orden de 10⁻⁸ cm. A su vez, los núcleos tienen dimensiones lineales 10 000 a 100 000 veces más pequeñas. El radio nuclear es de 10⁻¹² a 10⁻¹³ cm. En términos de volumen, los átomos ocupan como 10⁻²⁴ cm³ y los núcleos 10⁻³⁸ cm³.

FIGURA 10: Nuestra imagen del átomo.



Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

El núcleo de cada átomo está formado a su vez por protones y neutrones. Lo podemos imaginar como un racimo de partículas, pues neutrones y protones se encuentran en contacto unos con otros.

Los electrones tienen carga eléctrica negativa (-e), los protones la misma, pero positiva (+e), y los neutrones no tienen carga. Los núcleos son por consiguiente positivos. La fuerza fundamental que mantiene a los electrones unidos a su respectivo núcleo es la eléctrica; sabemos que cargas opuestas se atraen y cargas del mismo signo se repelen.

Los átomos normalmente son eléctricamente neutros, pues el número de electrones orbitales es igual al número de protones en el núcleo. A este número se le denomina número atómico (Z) y distingue a los elementos químicos. Ahora bien, los electrones orbitales se encuentran colocados en capas. La capa más cercana al núcleo es la capa K; le siguen la capa L, la M, la N, etc. Una clasificación de los elementos la constituye la tabla periódica, en que a cada elemento se le asocia su correspondiente Z. En el cuadro se dan ejemplos de algunos elementos ligeros, incluyendo el número de

electrones que corresponde a cada capa; la capa K se llena con 2 electrones, la L con 8, etc. Se conocen más de 100 elementos. Nótese que nombrar el elemento equivale a establecer su número atómico.

4.2.2. El núcleo

Como ya se mencionó, el núcleo está en la parte central del átomo, y consiste de protones y neutrones. Cada elemento de un Z determinado puede contener en su núcleo diferente número de neutrones sin que ello afecte su número atómico; por ejemplo, el hidrógeno, el elemento más sencillo, puede tener cero, uno o dos neutrones. El núcleo del hidrógeno más común sólo consiste de un protón; le sigue el hidrógeno pesado, o deuterio, con un protón y un neutrón; y el tritio, con un protón y dos neutrones. Todos ellos son hidrógeno, por ser de $Z = 1$, pero las variantes según N , el número de neutrones, se llaman isótopos del hidrógeno. En la Tierra, sólo 15 de cada 100 000 núcleos de hidrógeno son de deuterio. La llamada agua pesada está formada por deuterio en lugar de hidrógeno común. Por otro lado, el tritio, que es radiactivo, sólo se encuentra en ínfima cantidad; lo produce la radiación cósmica. La figura 4 muestra los isótopos del hidrógeno.

4.2.3. La masa y la energía

La masa de los núcleos es otra de sus características importantes. Para cuantificarla se define la unidad atómica de masa (u.a.m) como 1/12 de la masa del átomo de ^{12}C , que tiene 6 protones, 6 neutrones y 6 electrones. En estas unidades las masas de las partículas fundamentales resultan ser:

masa del protón = $m_p = 1.007277$ u.a.m.
masa del neutrón = $m_n = 1.008665$ u.a.m.
masa del electrón = $m_e = 0.000549$ u.a.m.

Como se puede ver, la parte importante de la masa de un átomo se debe a los nucleones; los electrones contribuyen poco, siendo la masa del electrón aproximadamente igual a $1/1835$ de la masa del protón.

La masa, aquí en la Tierra, se manifiesta como el peso. Cuando uno pesa un objeto, está pesando todos sus componentes, pero principalmente los núcleos. El núcleo define la posición del átomo, y los electrones giran alrededor del núcleo.

Un mol de una sustancia es igual a su peso molecular expresado en gramos. Se sabe que un mol de cualquier material tiene el mismo número de moléculas, a saber, 6.023×10^{23} , llamado número de Avogadro. Una u.a.m. equivale a 1.66043×10^{-24} gr, que es precisamente el recíproco del número de Avogadro.

La masa de un isótopo dado nunca es igual a la suma de las masas de sus componentes. Este hecho extraño se debe a que la masa (m) se puede transformar en energía (E), y viceversa, según la muy conocida ecuación de Einstein:

$$E = mc^2,$$

donde c es la velocidad de la luz, 3×10^{10} cm/seg. Si la masa del isótopo es menor que la suma de las masas de sus componentes, la diferencia de las masas es la energía de amarre del isótopo. Ésta es la energía que se requiere para romper al isótopo en sus componentes.

La unidad conveniente de energía es el electrón-volt (eV), que es la energía adquirida por una partícula con una carga electrónica (e) al ser acelerada en una diferencia de potencial de 1 volt. Sus múltiplos son:

$$10^3 \text{ eV} = 1000 \text{ eV} = 1 \text{ keV (kilo electrón-volt)}$$

$10^6 \text{ eV} = 1\,000\,000 \text{ eV} = 1 \text{ MeV}$ (mega electrón-volt)

Se puede demostrar que 1 MeV equivale a 1.6×10^{-6} ergs.

De acuerdo con la ecuación de Einstein, se puede calcular que 1 u.a.m: (la masa de un nucleón aproximadamente) equivale a 931 MeV, o bien a 1.49×10^{-3} ergs. Si se piensa en el gran número de núcleos que contiene la materia, ésta es una cantidad enorme de energía.

La fuerza nuclear que actúa en estos procesos es una fuerza de atracción entre pares de nucleones (protón-protón, neutrón-neutrón y neutrón-protón). Asimismo, es independiente de las otras fuerzas, como la eléctrica y la gravitacional.

4.3. Enlaces entre átomos y moléculas^{17, 7, 27}

4.3.1. Enlace iónico

En los enlaces iónicos, los electrones se transfieren completamente de un átomo a otro. Durante este proceso de perder o ganar electrones cargados negativamente, los átomos que reaccionan forman iones. Los iones cargados de manera opuesta se atraen entre ellos a través de fuerzas electrostáticas que son la base del enlace iónico.

Los compuestos iónicos comparten muchas características en común:

- Los enlaces iónicos se forman entre metales y no metales,
- Al nombrar compuestos iónicos simples, el metal siempre viene primero, el no metal segundo (por ejemplo, el cloruro de sodio),

- Los compuestos iónicos se disuelven fácilmente en el agua y otros solventes polares,
- En una solución, los compuestos iónicos fácilmente conducen electricidad,
- Los compuestos iónicos tienden a formar sólidos cristalinos con temperaturas muy altas.

4.3.2. Enlace covalente

El modelo de enlace entre iones no se puede utilizar para explicar la unión entre cualquier pareja de átomos. Si dos átomos son iguales, no existe ninguna razón que justifique que uno de estos átomos se transforme en ión. Para justificar estas situaciones se utiliza otro modelo de enlace. Cuando los átomos que forman un enlace comparten sus electrones con la finalidad de cumplir con la regla de los ocho, se forma un enlace.

4.3.2.1. Otros tipos de enlaces covalentes entre los átomos

Hasta el momento se han considerado dos tipos de enlace extremos. En el enlace iónico, los átomos que participan son tan distintos que ganan o pierden uno o más electrones para formar iones con carga opuesta. El enlace se debe a las atracciones entre los iones. En el enlace covalente dos átomos idénticos comparten electrones de manera igual. La formación del enlace se debe a la atracción mutua de los dos núcleos hacia los electrones compartidos. Entre estos extremos se encuentran casos intermedios en los cuales los átomos no son tan distintos que ganen o pierdan electrones en su totalidad, pero son bastante distintos para que haya un compartimento desigual de electrones y se forme lo que se conoce como enlace covalente polar.

4.3.2.2. Conductividad del enlace covalente

La falta de conductividad en estas sustancias se puede explicar porque los electrones de enlace están fuertemente localizados atraídos por los dos núcleos de los átomos enlazados. Dada la elevada energía necesaria para romper un enlace covalente, es de esperar un elevado punto de fusión cuando los átomos unidos extiendan sus enlaces en las tres direcciones del espacio como sucede en el diamante; no obstante, cuando el número de enlaces es limitado como sucede en la mayor parte de las sustancias (oxígeno, hidrógeno, amoníaco, etc.) con enlaces covalentes, al quedar saturados los átomos enlazados en la molécula, la interacción entre moléculas que se tratará más adelante, será débil, lo que justifica que con frecuencia estas sustancias se encuentren en estado gaseoso a temperatura y presión ordinarias y que sus puntos de fusión y ebullición sean bajos.

4.3.3. Enlace metálico

Por último el enlace metálico, su importancia la podemos ver en el hecho de que las 3/4 partes de elementos del sistema periódico son metales. El papel que estas sustancias han tenido en el desarrollo de la humanidad es tan importante que incluso se distingue entre la edad de piedra, la edad del bronce y la del hierro. De los 90 elementos que se presentan en la naturaleza algunos metales como el sodio y el magnesio, pueden extraerse de los océanos donde se encuentran disueltos. Los demás metales se suelen obtener a partir de depósitos minerales que se hallan encima o debajo de la superficie terrestre. Algunos metales son tan poco reactivos que es posible encontrarlos directamente en forma elemental, este es el caso del oro, la plata y el platino. Otros se encuentran formando parte de distintos compuestos químicos. En general presentan propiedades muy peculiares

que los han diferenciado desde hace siglos de las restantes sustancias, tales como: ser excelentes conductores del calor y la electricidad en estado sólido, ser fácilmente deformables (lo que permite trabajarlos y fabricar con ellos objetos de distintas formas). Por otra parte suelen presentarse como sólidos de dureza variable, con muy diversos puntos de fusión y ebullición (el galio, por ejemplo, funde a 2978° mientras que otro metal, el tantalio, lo hace a casi 3000°).

4.4. Propiedades y características de los materiales derivados de su enlace.

Parece lógico suponer que las propiedades características de las sustancias aporten alguna información acerca de la forma en que están unidos los átomos que las forman.

La materia que nos rodea se presenta en forma de sustancias con distinto aspecto y propiedades. El conocimiento de estas propiedades puede aportar alguna información acerca de las fuerzas que hacen unirse a las partículas en una sustancia. Así, por ejemplo, los puntos de fusión y ebullición de las diversas sustancias son indicativos de la mayor o menor fuerza de enlace entre las partículas (átomos, iones o moléculas) que constituyen el sólido o líquido. Por otra parte si una sustancia en determinadas condiciones conduce la corriente eléctrica, podría pensarse también en la existencia de partículas cargadas. Otras propiedades pueden ser la solubilidad, la facilidad de deformación o fragilidad de los sólidos, etc.

La diversidad de propiedades existentes (densidad, temperaturas de fusión y ebullición, dureza, solubilidad en diferentes líquidos, conductividad,..) hace que resulte difícil clasificar en unos pocos grupos a todas las sustancias y cualquier regla que se establezca para ello dejará fuera a sustancias con propiedades

intermedias o atípicas. No obstante, a pesar de ello ha sido posible clasificar a la mayor parte de las sustancias en tres grandes grupos que evidencian la existencia de cuatro formas fundamentales de unión entre los átomos, es decir de cuatro tipos de enlace:

- En primer lugar nos encontramos con sustancias como el cloruro de sodio, yoduro de potasio, cloruro de magnesio, etc... que son compuestos de aspecto cristalino, frágiles y con elevados puntos de fusión y ebullición. Son, en general, más o menos solubles en disolventes del tipo del agua y no lo son en disolventes del tipo del benceno. No son conductores de la corriente en estado sólido, pero sí cuando se presentan fundidos o en disolución. La existencia de este tipo de sustancias, entre las que hemos citado como ejemplos típicos a las sales, está ligada a una forma de enlace que, por razones que luego veremos, se denomina enlace iónico, designando consecuentemente dichas sustancias como compuestos iónicos.
- En segundo lugar, nos encontramos con sustancias como el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, dióxido de carbono, naftaleno, agua, amoníaco, etc, muchas de las cuales se encuentran, a temperatura y presión ordinarias, en forma de gases constituidos por moléculas de una gran estabilidad pues resisten, en general, temperaturas elevadas sin descomponerse. En cambio cuando se hallan en estado sólido o líquido tienen por lo general bajos puntos de fusión y de ebullición. Por otra parte, los sólidos de esta clase no se disuelven en disolventes del tipo del agua, haciéndolo en los del tipo del benceno y no conducen la corriente eléctrica en estado líquido ni tampoco lo hacen sus disoluciones. El comportamiento de estas sustancias hace suponer la existencia de fuertes uniones intramoleculares dada la estabilidad de dichas moléculas, y de débiles uniones intermoleculares, teniendo presente la facilidad con que se logra separar las moléculas. Es decir, se

pone de manifiesto la existencia en este tipo de sustancias de dos formas de enlace asociadas, denominándose a la primera enlace covalente y conociéndose las débiles interacciones intermoleculares como fuerzas de van der Waals (profesor de la Universidad de Amsterdam, premio Nobel en 1910, que modificó la ecuación general de los gases teniendo en cuenta, entre otras cosas, que entre sus moléculas podían existir fuerzas de atracción). En algunos casos se presenta sólo una de estas formas de unión. Así, se ha conseguido solidificar a los gases nobles que en condiciones normales se presentan como gases formados por átomos sueltos, en esos sólidos sólo estarán presentes, pues, las débiles fuerzas de van der Waals que aquí se ejercen entre partículas monoatómicas. Por otra parte el diamante, carbono puro, es un ejemplo de sustancia cuyos cristales constituyen verdaderas moléculas gigantes en las que todas las uniones entre átomos de carbono tienen las características del enlace covalente.

- Por último, nos referiremos a los metales, cuya propiedad más típica es su carácter conductor del calor y la electricidad en estado sólido. Los metales constituyen más de las tres cuartas partes de los elementos del sistema periódico por lo que no es de extrañar que exista una gran variedad en propiedades tales como dureza, punto de fusión, etc. Muchos de ellos tienen un brillo característico y son fácilmente deformables, es decir, son dúctiles y maleables (se separan fácilmente en hilos y láminas). El tipo de enlace existente entre los átomos de un metal se denomina, por razones evidentes, enlace metálico.

En resumen, pues, el estudio de las propiedades de las sustancias nos permite agruparlas en tres grandes tipos poniendo en evidencia la existencia de cuatro formas distintas de interacción entre partículas: enlace iónico, enlace covalente, fuerzas intermoleculares y enlace metálico.

4.5. Estados de la materia^{27, 7}

Los átomos que tienen poca energía interactúan mucho y tienden a "encerrarse" y no interactuar con otros átomos. Por consiguiente, colectivamente, estos átomos forman una sustancia dura, lo que llamamos un sólido. Los átomos que poseen mucha energía se mueven libremente, volando en un espacio y forman lo que llamamos gas. Resulta que hay varias formas conocidas de materia, algunas de ellas están detalladas a continuación.

4.5.1. Sólido

Los sólidos se forman cuando las fuerzas de atracción entre moléculas individuales son mayores que la energía que causa que se separen. Las moléculas individuales se encierran en su posición y se quedan en su lugar sin poder moverse. Aunque los átomos y moléculas de los sólidos se mantienen en movimiento, el movimiento se limita a una energía vibracional y las moléculas individuales se mantienen fijas en su lugar y vibran unas al lado de otras. A medida que la temperatura de un sólido aumenta, la cantidad de vibración aumenta, pero el sólido mantiene su forma y volumen ya que las moléculas están encerradas en su lugar y no interactúan entre sí.

4.5.2. Líquido

Los líquidos se forman cuando la energía (usualmente en forma de calor) de un sistema aumenta y la estructura rígida del estado sólido se rompe. Aunque en los líquidos las moléculas pueden moverse y chocar entre sí, se mantienen relativamente cerca, como los sólidos. Usualmente, en los líquidos las fuerzas intermoleculares (tales como los lazos de hidrógeno que se muestran en la siguiente animación) unen las moléculas que

seguidamente se rompen. A medida que la temperatura de un líquido aumenta, la cantidad de movimiento de las moléculas individuales también aumenta. Como resultado, los líquidos pueden "circular" para tomar la forma de su contenedor pero no pueden ser fácilmente comprimidos porque las moléculas ya están muy unidas. Por consiguiente, los líquidos tienen una forma indefinida, pero un volumen definido.

4.5.3. Gas

Los gases se forman cuando la energía de un sistema excede todas las fuerzas de atracción entre moléculas. Así, las moléculas de gas interactúan poco, ocasionalmente chocándose. En el estado gaseoso, las moléculas se mueven rápidamente y son libres de circular en cualquier dirección, extendiéndose en largas distancias. A medida que la temperatura aumenta, la cantidad de movimiento de las moléculas individuales aumenta. Los gases se expanden para llenar sus contenedores y tienen una densidad baja. Debido a que las moléculas individuales están ampliamente separadas y pueden circular libremente en el estado gaseoso, los gases pueden ser fácilmente comprimidos y pueden tener una forma indefinida.

4.5.4. Plasma

Los plasmas son gases calientes e ionizados. Los plasmas se forman bajo condiciones de extremadamente alta energía, tan alta, en realidad, que las moléculas se separan violentamente y sólo existen átomos sueltos. Más sorprendente aún, los plasmas tienen tanta energía que los electrones exteriores son violentamente separados de los átomos individuales, formando así un gas de iones altamente cargados y energéticos. Debido a que los átomos en los plasmas existen como iones cargados, los plasmas se comportan de manera diferente que los gases y forman el cuarto estado de

la materia. Los plasmas pueden ser percibidos simplemente al mirar para arriba; las condiciones de alta energía que existen en las estrellas, tales como el sol, empujan a los átomos individuales al estado de plasma.

4.5.5. Los Condensados Bose-Einstein

Representan un quinto estado de la materia visto por primera vez en 1955. El estado lleva el nombre de Satyendra Nath Bose y Albert Einstein, quien predijo su existencia hacia 1920. Los condensados B-E son superfluidos gaseosos enfriados a temperaturas muy cercanas al cero absoluto. En este extraño estado, todos los átomos de los condensados alcanzan el mismo estado mecánico-quantum y pueden fluir sin tener ninguna fricción entre sí. Aún más extraño es que los condensados B-E pueden "atrapar" luz, para después soltarla cuando el estado se rompe.

También han sido descritos o vistos varios otros estados de la materia menos comunes. Algunos de estos estados incluyen cristales líquidos, condensados fermiónicos, superfluidos, supersólidos y el correctamente denominado "extraña materia".

4.5.6. Cambios de estado

Fusión y solidificación

Cuando se le comunica calor a un sólido cristalino, su temperatura aumenta progresivamente y al alcanzar un determinado valor se produce la transición o cambio de fase del estado sólido al líquido que denominamos fusión. Si las condiciones de presión exterior se mantienen constantes, el cambio de fase se verifica a una temperatura fija o punto de transición entre ambos

estados, que se mantiene constante hasta que el sólido se ha fundido totalmente.

A nivel molecular la fusión se produce como consecuencia del derrumbamiento de la estructura cristalina. El incremento de temperatura da lugar a un aumento en la amplitud de las vibraciones de las partículas en la red, que termina por romper los enlaces y producir la fusión. Una vez que se alcanza la energía de vibración correspondiente a la temperatura de fusión, el calor recibido se emplea en romper nuevos enlaces, de ahí que se mantenga constante la temperatura durante el proceso.

La solidificación es la transición de líquido a sólido que se produce de forma inversa a la fusión, con cesión de calor. Cualquiera que sea la sustancia considerada el punto o temperatura de transición entre dos estados o fases de la materia es el mismo independientemente del sentido de la transformación. La disminución progresiva de la temperatura del líquido hace que en las proximidades del punto de solidificación las fuerzas de enlace vayan imponiendo progresivamente su orden característico.

Vaporización y condensación

Constituyen dos procesos inversos de cambio de estado. La vaporización es el paso de una sustancia de la fase líquida a la fase de vapor o fase gaseosa. La condensación es la transición de sentido contrario. Cuando la vaporización se efectúa en el aire recibe el nombre de evaporación. La evaporación afecta principalmente a las moléculas de la superficie del líquido.

La condensación como transición de vapor a líquido se lleva a efecto invirtiendo las condiciones que favorecen la vaporización. Así, mientras que la disminución de la presión exterior facilita la vaporización, la compresión

del vapor formado facilita la condensación; el aumento de temperatura de un líquido provoca su vaporización e, inversamente, el enfriamiento del vapor favorece su condensación.

En términos moleculares, tanto el aumento de presión como la disminución de la temperatura del vapor reducen la distancia media de las moléculas y hacen posible su unión.

Sublimación

Aunque es un fenómeno poco frecuente a la temperatura y presión ordinarias, algunas sustancias como el yodo o el alcanfor pueden transformarse directamente de sólido a vapor sin necesidad de pasar por la fase intermedia de líquido. A tal fenómeno se le denomina sublimación.

La transición o cambio de estado de sentido inverso se denomina de igual manera, por ello a veces se distinguen ambas llamando a la primera sublimación progresiva y a la segunda sublimación regresiva.

4.6. Estructuras cristalinas^{27, 41}

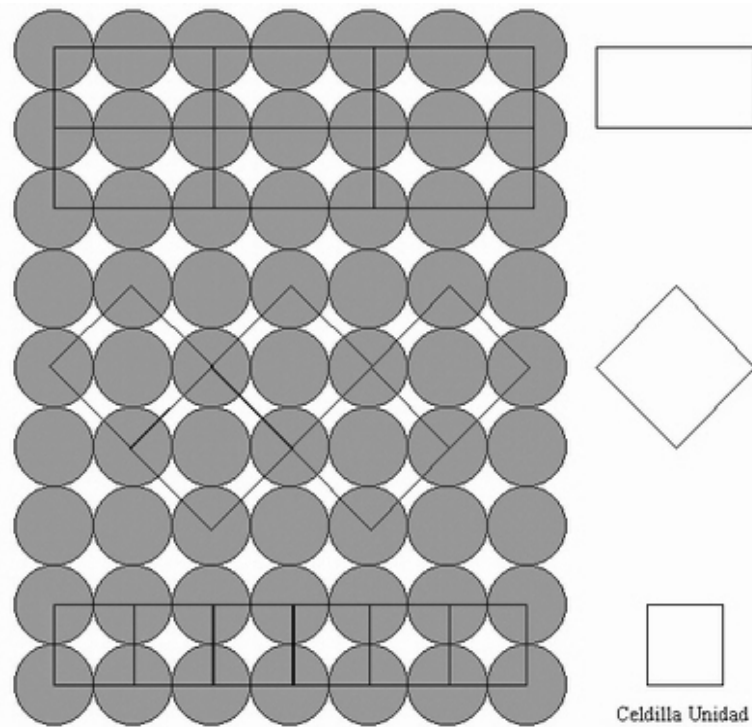
Un material cristalino se caracteriza principalmente porque sus átomos se disponen de manera ordenada. Debido a esto, existirá un patrón (o unidad estructural), formado por unos pocos átomos, mediante el cual se podrá reproducir totalmente la estructura cristalina del material. Por tanto, basta cuantificar el patrón para tener totalmente determinada la estructura atómica de un material cristalino. La elección de la unidad estructural, generalmente, no es unívoca para un cierto ordenamiento atómico. Se toma entonces la más sencilla de todas como unidad representativa de ese ordenamiento, y se le denomina celdilla unidad.

El estudio mediante celdas unidad de la estructuras a nivel atómico de los materiales tiene la gran ventaja de que todas las estructuras posibles se reducen a 7 sistemas cristalinos y a 14 redes de Bravais.

4.6.1. Los siete sistemas cristalinos

Consideremos únicamente un entorno bidimensional en un material cristalino. Por el hecho de ser cristalino, sus átomos seguirán una cierta secuencia de ordenamiento; es decir, podremos reproducirlo a base de repetir un patrón formado por un grupo reducido de átomos. Se muestran en la figura varios posibles patrones que permiten reproducir el ordenamiento bidimensional representado. Al más sencillo de ellos se le denomina celdilla unidad.

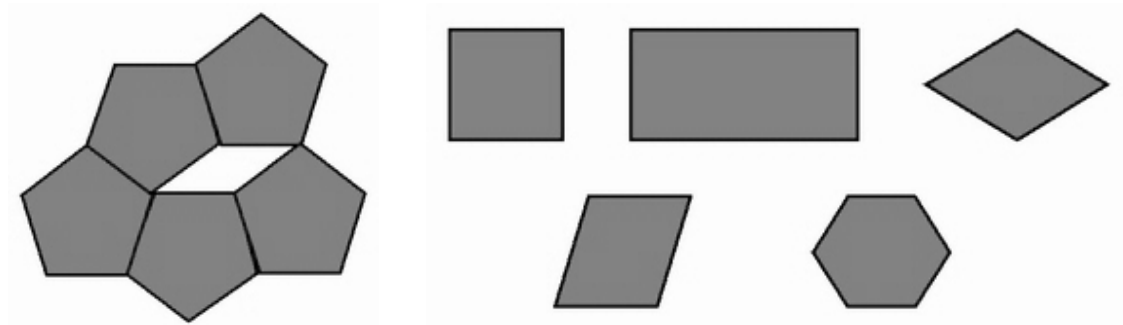
FIGURA 11: Ordenamiento atómico bidimensional imaginario.



Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

Ahora bien, existe un número limitado de geometrías planas que permiten, mediante su repetición reiterativa, llenar totalmente un plano. Esto queda patente si realizamos la prueba con pentágonos. De hecho, únicamente existen cinco geometrías planas que permiten "cubrir" totalmente un plano. Extrapolando esta idea al caso de un espacio tridimensional, sólo existen siete geometrías espaciales capaces de llenar completamente un espacio 3D. A estas siete celdillas unitarias se las conoce con el nombre de los 7 sistemas cristalinos.

FIGURA 12: Geometría de las celdillas



La geometría pentagonal no puede ser una celdilla unidad bidimensional.

Geometrías posibles de celdillas unidad bidimensionales.

Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

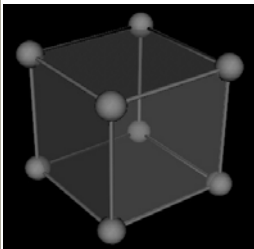
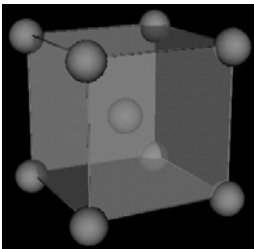
El tamaño y la forma de un sistema cristalino (nomenclatura) pueden ser especificados por medio de las longitudes a , b y c de las tres aristas independientes, y los tres ángulos α , β y γ entre las aristas, denominadas constantes de red o parámetros de red.

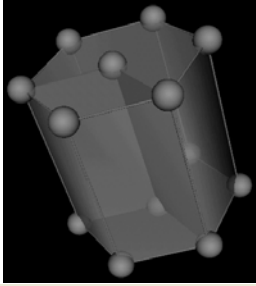
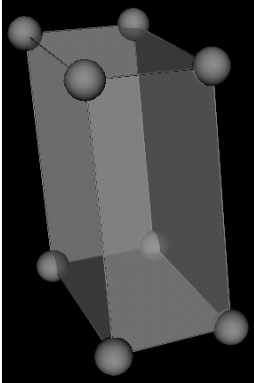
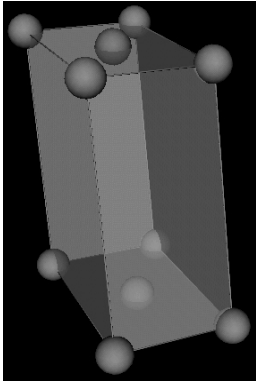
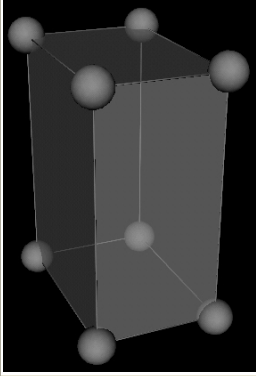
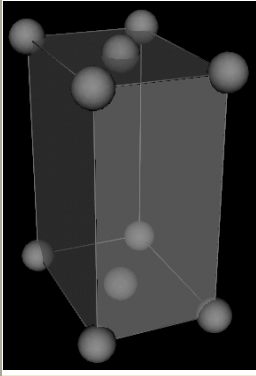
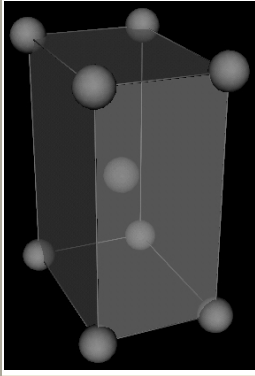
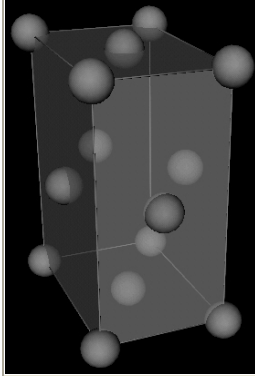
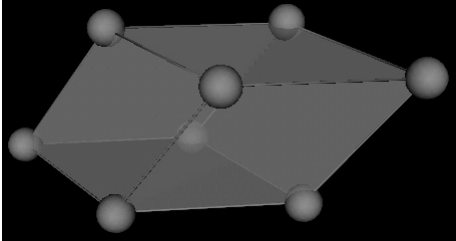
4.6.2. Las redes de Bravais

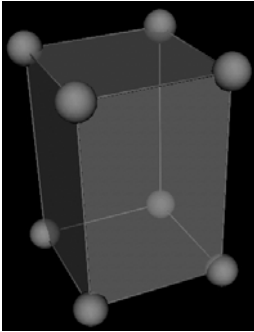
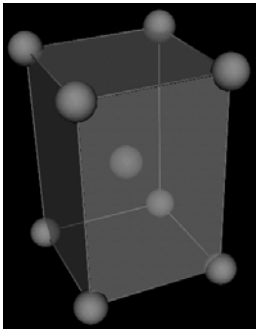
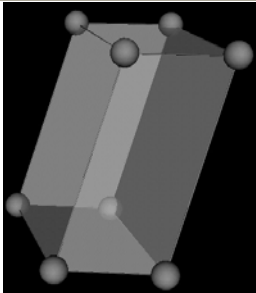
El empleo de celdillas unidad facilita en gran medida la descripción de las estructuras en los cristales, ya que con ello se limita el número de posibles celdillas a tan sólo siete. Pero los materiales están formados por átomos o iones, por lo que el siguiente paso será ver cómo pueden agruparse los átomos o iones dentro de las celdillas unidad.

Para esto, consideremos una entidad imaginaria para representar tanto a un átomo como a un grupo de átomos, a la que denominaremos punto reticular. Tendremos que considerar las diferentes posibilidades que hay de colocar puntos reticulares en cada uno de los siete sistemas cristalinos, de forma que cada punto reticular tenga el mismo entorno; es decir, que esté rodeado del mismo número de puntos reticulares y estos se sitúen en las mismas posiciones. Las combinaciones, nuevamente, son limitadas, pudiéndose obtener únicamente 14, a las que se denomina redes de Bravais. Sus diferentes formas y tamaños pueden ser descritos en términos de sus parámetros de red ya definidos.

FIGURA 13: Redes de Bravais

SISTEMA CRISTALINO	REDES DE BRAVAIS		
CÚBICO			
	CÚBICA SIMPLE	CÚBICA CENTRADA EN EL CUERPO	CÚBICA CENTRADA EN

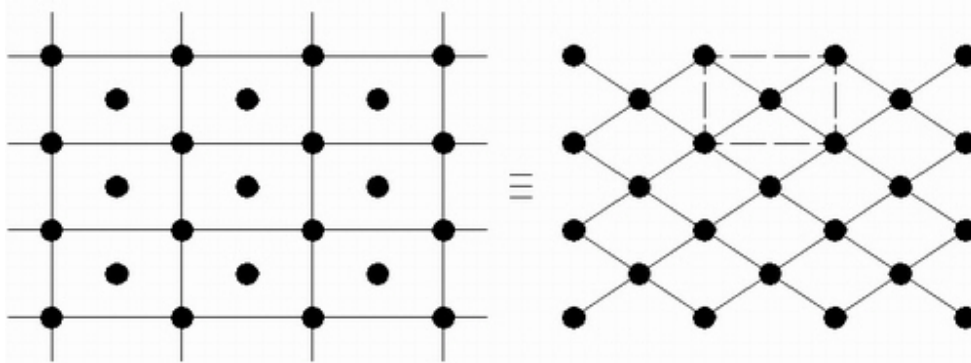
			LAS CARAS	
HEXAGONAL				
	HEXAGONAL			
MONOCLÍNICO				
	MONOCLÍNICA SIMPLE		MONOCLÍNICA CENTRADA EN LAS BASES	
ORTORRÓMBICO				
	ORTORRÓMBICA SIMPLE	ORTORRÓMBICA CENTRADA EN LAS BASES	ORTORRÓMBICA CENTRADA EN EL CUERPO	ORTORRÓMBICA CENTRADA EN LAS CARAS
ROMBOÉDRICO				

	ROMBOÉDRICA	
TETRAGONAL		
	TETRAGONAL SIMPLE	TETRAGONAL CENTRADA
TRICLÍNICO		
	TRICLÍNICA	

Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

Frankenheim, en 1835, fue el primer investigador que enumeró y describió las redes espaciales, proponiendo que había un total de 15. Lamentablemente para él, ocho años más tarde, Bravais puso de manifiesto que dos de sus redes eran idénticas. Lo que ocurrió, tomando una analogía bidimensional, es que Frankenheim había errado al no observar que la red rómbica plana y la rectangular centrada eran idénticas. Desde entonces las 14 redes espaciales son, generalmente, y quizás injustamente, llamadas redes de Bravais.

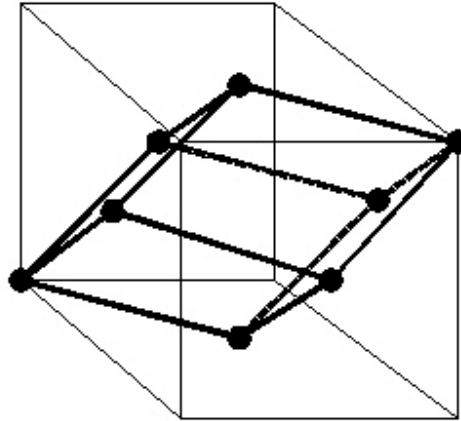
FIGURA 14: Las redes planas rectangular centrada y rómbica son idénticas.



Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

Los esquemas de las celdillas unitarias de las redes de Bravais mostrados pueden ser de apariencia engañosa debido a que la adopción de un determinado diagrama de puntos de una red es que lo que diferencia a las redes. La celdilla unidad simplemente representa de forma arbitraria, aunque conveniente, los modos de unirse los puntos de la red. Consideremos, por ejemplo, las tres celdillas cúbicas; cúbica P (P = Primitiva, un punto de red por celdilla, por ejemplo, los puntos de la red solamente están en los vértices de la celdilla), cúbica I (I = Innenzentrierte, lo que en alemán equivale a "centrado en el cuerpo", es decir, un punto de red adicional en el centro de la celdilla dando, por lo tanto, dos puntos de red por celdilla) y cúbica F (F = Face-centred = centrado en las caras, con puntos adicionales en el centro de cada una de las caras de la celdilla, dando lugar a cuatro puntos de red por celdilla). No obstante, es posible esbozar celdillas alternativas primitivas (o sea, con puntos de la red sólo en los vértices) para la cúbicas I y F, como se muestra en la figura adjunta. Sin embargo, estas celdillas primitivas son generalmente poco empleadas porque (1) los ángulos entre ejes no son de 90° (más convenientes) y (2) porque no revelan muy claramente la simetría cúbica de las redes cúbicas.

FIGURA 15: Celdilla romboédrica primitiva de la red cúbica centrada en las caras



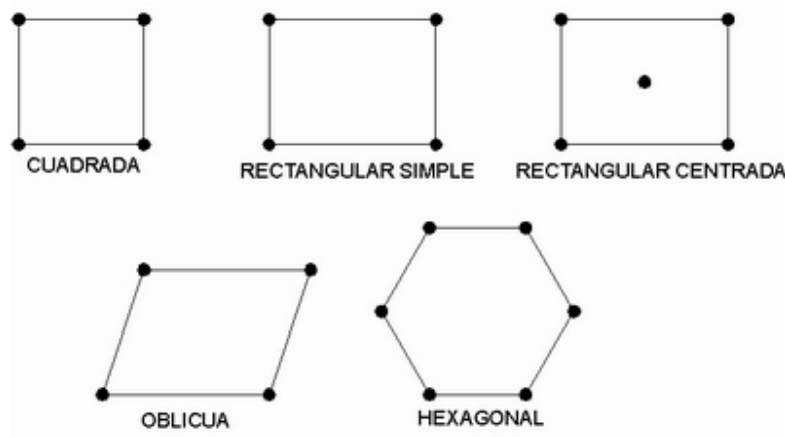
Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

Argumentos similares relativos al empleo de celdillas primitivas pueden ser aplicados a todas las otras redes centradas. Obsérvese, que las celdillas unitarias de dos de las redes (ortorrómbica y monoclinica) son centradas en las caras superior e inferior. Éstas son denominadas centradas en la base C (C = C-centred) porque éstas caras están interceptadas por el eje c. De esta forma, podemos distinguir entre cuatro tipos básicos de celdilla unidad: simple (P), centrada en el cuerpo (I), centrada en las caras (F) y centrada en la base (C).

Por otra parte, se pueden concebir las redes de Bravais como apilamiento de las 5 redes planas. De esta forma, las redes cúbica y tetragonal están basadas en el apilamiento de capas de planos con disposición cuadrada; la celdillas ortorrómbicas P e I en el apilamiento de capas con disposición rectangular; las redes ortorrómbica C y F en el apilamiento de capas con disposición rectangular centrada; las redes romboédrica y hexagonal en el

apilamiento de capas con disposición hexagonal y, por último, las redes monoclinica y triclinica por el apilamiento de capas con disposición oblicua.

FIGURA 16: Celdas unidad de las cinco redes planas.



Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

4.7. Estado amorfo^{7, 27}

Materia sólida donde todas las partículas que la componen están desordenadas, sin ocupar posiciones fijas en el espacio. A los minerales formados por materia cristalina se les denomina mineraloides, como la limonita, bauxita o el ópalo.

FIGURA 17: Metales amorfos

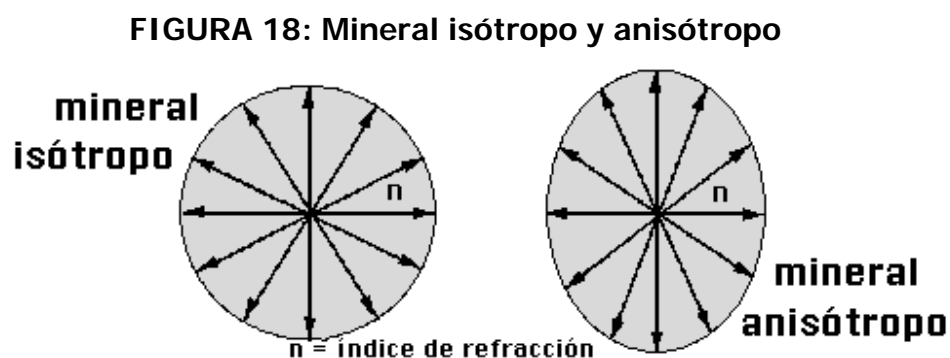


Los metales amorfos son aleaciones metálicas donde la estructura atómica no es cristalina. Una aleación metálica cristalina como el carbono tiene varios ejes de simetría en su estructura atómica. En los metales amorfos no hay ejes de simetría y los átomos que lo constituyen se reparten al azar en el interior del material. Existen diferentes técnicas para la producción de metales amorfos. Todas ellas se basan en una transición rápida del metal del estado líquido al sólido.

La ventaja esencial de un material amorfo, es el valor excepcionalmente bajo de pérdidas comparada con otros materiales magnéticos.

4.8. Isotropía y anisotropía^{7, 27}

Las sustancias isotrópicas presentan siempre el mismo comportamiento independientemente de la dirección, mientras que en las anisotrópicas las propiedades varían con la dirección. En el caso de la luz, los cristales anisótropos presentan distintos valores de su índice de refracción en función de la dirección en que vibre la luz al atravesar el cristal.

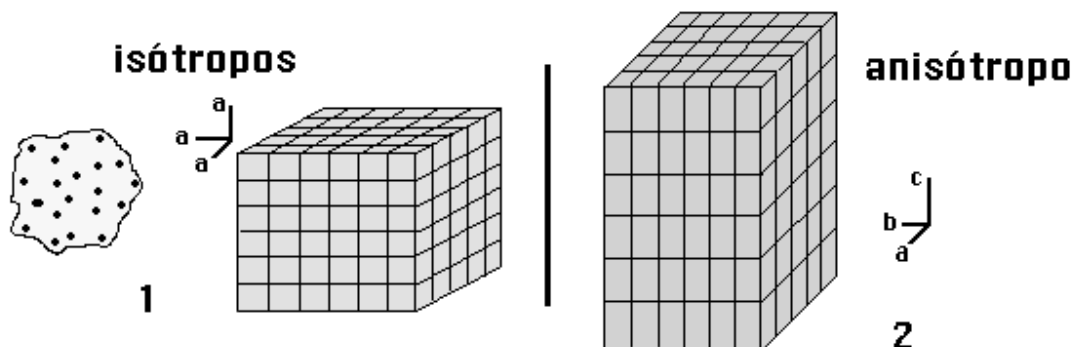


Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

La anisotropía es una consecuencia de la estructura interna del mineral. Si carece de organización interna (minerales amorfos) o si presenta una organización muy regular son isótropos, los demás son anisótropos.

Los minerales que cristalizan en el Sistema Cúbico (o Regular), es decir, el de máxima simetría, con sus átomos o iones igualmente distribuidos en las tres direcciones principales del espacio, son isótropos. Los pertenecientes al resto de los sistemas cristalinos (hexagonal, trigonal, tetragonal, rómbico, monoclinico y triclinico) son anisótropos, las disposiciones de sus elementos constituyentes varían con la dirección y por tanto su elasticidad para las ondas luminosas también es diferente.

FIGURA 19: Isótropo y anisótropo



Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

La isotropía se refiere a que todas las direcciones espaciales son entre sí equivalentes, son simétricas, al establecer las formulaciones de la Física. No existen direcciones del espacio hacia donde las leyes de la Física funcionen de manera distinta a cómo funcionan en las restantes direcciones.

La anisotropía dificulta el diseño de elementos de construcción

Las propiedades de los elementos estructurales fabricados con materiales termoplásticos reforzados con fibras no sólo dependen de los parámetros

específicos del material sino también del proceso empleado para su fabricación. De este modo, por ejemplo, el proceso de carga repercute en el grado de orientación de las fibras de refuerzo e influye también consecuentemente en propiedades del material tales como la rigidez, la solidez y el comportamiento térmico. Esto resulta de gran importancia para aquellos elementos estructurales que una vez integrados en la construcción se hallan sometidos a grandes fuerzas y cargas, elevadas temperaturas y fuertes tensiones.

Al moldear piezas por inyección la orientación de las fibras que se obtiene no es homogénea, razón por la que al analizar el elemento de construcción pueden observarse diferentes propiedades del material en distintos puntos del mismo.

Esta anisotropía representa una dificultad considerable al diseñar piezas moldeadas reforzadas con fibras de mayor complejidad mediante métodos numéricos de cálculo. Como generalmente se suele desconocer la orientación local de las fibras, en la mayoría de los casos se tiende a simplificar partiendo de que el material presenta un comportamiento isótropo y, a fin de corregir o compensar posibles errores derivados de esta suposición, se multiplican los valores característicos de diferentes materiales, facilitados en los bancos de datos, por un llamado factor de reducción. Dicho factor se obtiene de la comparación entre valores determinados mediante cálculo con valores obtenidos por medición (módulos de young) pero posee únicamente una validez limitada.

5. PRINCIPALES MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, SEGÚN SU FUNCIÓN ESPECÍFICA

5.1. Aglomerantes

5.1.1. Aglomerantes^{19, 4, 9, 40}

Los aglomerantes son productos más o menos industrializados que a unas determinadas condiciones de temperatura y humedad reciben cambios fisicoquímicos. Los cambios que experimentan son reversibles, nos referimos sobre todo a cambios de densidad, viscosidad, etc., de modo que cuando se vuelve a las condiciones iniciales el producto vuelve a su ser. Así pues no se transforma el material, sus partículas no tienen una cohesión estable y además, aunque tienen la capacidad de unirse con otras partículas estos enlaces no son estables.

5.1.1.1. Aglomerantes aéreos

5.1.1.1.1. Yeso

El yeso es el aglomerante más antiguo, sobre todo en países de clima seco, en Egipto ya se conocía el yeso. Se utiliza para varias utilidades, como aglomerante, revestimiento, acabado, etc.

La masa fresca de yeso es muy manejable y durante el fraguado gana volumen por lo que es un material que llena muy bien los moldes para piezas prefabricadas. Además tienen muy poca

retracción hidráulica y endurece muy rápido, de modo que permite desmoldar rápidamente. Por todo esto se ha utilizado mucho y se ha mejorado el proceso de fabricación para seguir siendo un material muy utilizado sin ser desterrado por el cemento.

5.1.1.1.1. Principales propiedades del yeso

5.1.1.1.1.1. Aumento de la temperatura en el fraguado

Es precisamente lo que permite obtener una consistencia sólida. Durante el fraguado se desprende calor y esta liberación es como la marca propia del yeso, como su ADN.

5.1.1.1.1.2. Expansión durante el fraguado

Durante el fraguado hay un aumento de volumen. Se debe a que las redes de cristales se conforman más rápidamente. Esta expansión es en general de consecuencias positivas, como en el caso de revestimientos continuos en los que las fisuras quedan casi inexistentes.

5.1.1.1.1.3. Gran absorción

Es un material muy permeable debido a la gran porosidad que tiene. En el yeso se forman todos estos poros por la cantidad de agua que se pierde. Cuanta más agua se pierda más poros tendrá el material final y más absorberá.

Esta característica depende para qué puede ser muy útil, como en el caso de aislantes acústicos. Pero también puede

ser un punto débil del yeso de cara a la humedad. Como impermeabilizarlo puede ser muy caro lo mejor es emplear el yeso en los ambientes más adecuados.

5.1.1.1.1.4. Resistencia mecánica de la masa endurecida

Los yesos alcanzan bastante rápido su resistencia aunque esta dependa de su humedad. Le cuesta entre 5 y 7 días al contrario del cemento que tarda 28 días. En dos horas puede alcanzar el 50% de la resistencia final lo cual resulta muy útil para las piezas prefabricadas. Permite el desmolde muy rápido y su utilización en varias piezas. Como además aumenta de volumen durante el fraguado rellena muy bien el molde y no hay necesidad de vibrar.

De todos modos la resistencia que alcanza en comparación con el cemento es muy baja, así pues no puede ser un material estructural. Su resistencia a tracción y cortante es:

- TRACCIÓN: 0,10 – 0,15 de la resistencia a compresión
- CORTANTE: 0,5 de la resistencia a tracción

Estos valores, aunque varían según el tipo de yeso y de fabricante, son más o menos constantes para todos los yesos. Concretamente dependen de la naturaleza del yeso comercial (materia prima), del proceso de fabricación, de las adiciones añadidas, de la finura de la molienda y sobre todo de la cantidad de agua de amasado por los poros que deja y de la cantidad de humedad que tiene en el momento de rotura.

TABLA VII: Humedad vrs. Resistencia

Agua añadida (%)		0	0,4	1	5	2	>25
						5	
Pérdida de		0	33	5	5	5	disgregación
resistencia (%)				2	6	6	

Fuente: MORALES, Ing. Jorge Mario. "Materiales de Construcción".

El contenido de agua en el momento de la rotura tiene mucha importancia porque reduce el rozamiento entre los cristales y así se separan más fácilmente.

5.1.1.1.1.5. Dureza superficial

No es muy alta pero sí suficientemente para muchos usos no estructurales. Aún y todo la dureza superficial se ha ido mejorando con el tiempo. Una forma de aumentar la dureza superficial es reduciendo la relación agua – yeso en el amasado. También se utilizan tratamientos superficiales.

5.1.1.1.1.6. Adherencia a un soporte

Dependiendo siempre de la naturaleza del soporte. Por naturaleza el yeso tiene muy buena adherencia. En la adherencia de los aglomerantes se tiene en cuenta la naturaleza química y física de la unión.

Siempre tenemos una tensión que tiende a separar el aglomerante de la superficie, y esta fuerza es igual a la fuerza

entre la superficie del soporte. Por eso, cuanto más rugoso sea el soporte más superficie tendrá y mejor adherencia habrá. También hay productos que ayudan a la adherencia. En los yesos ésta puede fallar por:

- Humedad en los soportes. Si hay humedad continuamente el yeso acaba desprendiéndose porque se van rompiendo los cristales del yeso.
- Amasado y utilizaciones inadecuadas.
- Por formación de eflorescencias expansivas detrás del revestimiento. El soporte tiene humedad y se van precipitando sales expansivas que acaban rompiendo la unión entre yeso y soporte.
- En capas sucesivas de yeso se pueden dar absorciones de una capa a otra de yeso.

5.1.1.1.1.7. Coeficiente de conductividad térmica (λ)

Puede variar por distintas causas, sobre todo por la densidad aparente del yeso. También influye la humedad que tienen en el momento de medir λ , así como del tipo de adiciones que lleve en ese momento. De todos modos estas adiciones no evitan los puentes térmicos en un revestimiento de yeso.

En general el yeso tiene un λ entre 0,16 y 0,6 kcal/g°C.

5.1.1.1.1.8. Resistencia al fuego

Los yesos son incombustibles según la normativa. Además, su poca conductividad térmica hace que no trasmite el calor a la estructura. Al contener parte de agua lo primero que ocurre es

que el yeso se deshidrata totalmente, con esto ya consume muchas calorías, por lo tanto para que el fuego llegue a la estructura tiene que exponer al yeso durante mucho tiempo.

El yeso se utiliza en protección contra incendio, un recubrimiento de 5cm da dos horas de resistencia al fuego, 7cm da tres horas.

5.1.1.1.1.9. Moldabilidad

El yeso es un material muy moldeable y se adapta muy bien a los moldes. Además es muy fácil de partir. Esto es una ventaja a la hora de hacer prefabricados y de colocarlos.

5.1.1.1.1.2. Utilización de los yesos

Los yesos se utilizan:

- En obra, amasado
- Fraguado en elementos prefabricados

Sus aplicaciones:

- Raramente en exteriores, casi siempre en interiores
- Pocas veces en usos públicos

Como conglomerante tiene muy poco uso, más como un conglomerante auxiliar o provisionalmente para dejar marcas, por ejemplo. Aunque su uso en obra va por regiones, pues hay donde se utiliza para asiento de fábricas de ladrillos.

Sobre todo se usa como revestimiento continuo tanto de paramentos como de techos. También se usan otros

conglomerantes, dependiendo de la terminación. También puede ser monocapa o multicapa, combinando uno o varios conglomerantes.

Las características de los revestimientos, que son lo que más encarece, son:

- Grado de planeidad, maestrado o sin maestras, a ojo.
- Aristas, cóncavas y convexas.
- Textura.

5.1.1.1.2. Cal aérea

Es un producto resultante de la descomposición de las rocas calizas por la acción del calor. Estas rocas calentadas a más de 900°C producen el óxido de calcio, conocido con el nombre de cal viva, producto sólido de color blanco y peso específico de 3.4 kg/cm. Esta cal viva puesta en contacto con el agua se hidrata (apagado de la cal) con desprendimiento de calor, obteniéndose una pasta blanda que amasada con agua y arena se confecciona el mortero de cal o estuco, muy empleado en exteriores. Esta pasta limada se emplea también en imprimación o pintado de paredes y techos de edificios y cubiertas.

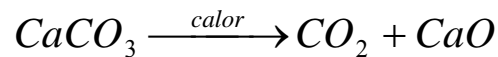
5.1.1.1.2.1. Obtención de la cal

Se puede obtener mediante las fases siguientes:

1º. - Extracción de la roca. El arranque de la piedra caliza puede realizarse a cielo abierto o en galería y por distintos medios,

según la disposición del frente. Los bloques obtenidos se fragmentan para facilitar la cocción.

2º. - Cocción o calcinación. El carbonato de calcio (CaCO_3), componente principal de las calizas, al someterlo a la acción del calor se descompone en anhídrido carbónico y óxido de calcio o cal viva, produciéndose la reacción química:



Para lograr la reacción de descomposición es necesario que la temperatura del horno sea superior a 900°C.

- Tipo de hornos para la cocción:
 - Horno de campana.
 - Horno intermitente de cuba.
 - Horno continuo.

3º. - Apagado de la cal. El óxido cálcico, o cal viva, no se puede emplear en la construcción de forma directa: es necesario hidratarla. Para ello, se la pone en contacto con el agua, operación que se llama apagado de la cal. Esta operación se puede efectuar por uno de los métodos siguientes:

- Por aspersión. Se extienden los terrones de cal viva sobre una superficie plana; seguidamente, se les riega con una cantidad de agua que oscile entre un 25% y un 50% con relación al peso; se cubren con arpilleras o capas de arena, para que se efectúe un apagado lento y completo. Y se obtiene cal en polvo.

- Por inmersión. Se reducen los terrones de cal al tamaño de grava. Esa grava se coloca en unos cestos de mimbre o de otro material y se introducen en agua, durante 1 minuto aproximadamente. A continuación, se vierten en un sitio preservado de corrientes de aire, donde la cal se va convirtiendo en polvo, a medida que se forma el apagado.
- Por fusión. Se introducen los terrones de cal en unos depósitos o recipientes que, a continuación, se llenan de agua. Cuando se ha efectuado el apagado, se obtiene una pasta blanda y untuosa, lo cual se cubre con una capa de arena para evitar su carbonatación.

5.1.1.1.2.2. Aplicaciones

La mayor utilidad que se le da a la cal es en prefabricados, hay dos familias con cal aérea: los ladrillos silicocalcáreos y morteros celulares de cal.

Los ladrillos silicocalcáreos parten de cal aérea mezclada con arena de sílice muy fina y agua, por lo tanto es un mortero. Estas piezas son muy macizas y más pesadas que los ladrillos cerámicos, por la propia densidad del material y por lo compacta que está la masa, aguantan perfectamente un muro de carga. Son totalmente blancos y tienen una textura muy fina, lo que luego hace que tengan muy poca adherencia con el mortero empleado. En climas húmedos acaban manchándose mucho.

Los morteros celulares de cal se hacen con cal aérea apagada, arena de sílice y agua. A esta mezcla, cuando está muy bien

amasada se le añade polvo de aluminio. También se hacen piezas armadas. Tenemos como resultado sistemas constructivos muy cómodos y rápidos de ejecutar. La gran ventaja que tienen estos morteros es su gran trabajabilidad, la capacidad de aislante térmico y acústico. Además, siguiendo correctamente las indicaciones del fabricante, se pueden hacer fábricas con él.

5.1.1.2. Aglomerantes hidráulicos

5.1.1.2.1. Cemento^{19,9}

Es el material aglomerante más importante de los empleados en la construcción. Se presenta en estado de polvo, obtenido por cocción a 1550° C una mezcla de piedra caliza y arcilla, con un porcentaje superior al 22% en contenido de arcilla. Estas piedras, antes de ser trituradas y molidas, se calcinan en hornos especiales, hasta un principio de fusión o vitrificación.

5.1.1.2.1.1. Proceso de obtención del cemento

La piedra caliza en una proporción del 75% en peso, triturada y desecada, junto a la arcilla en una proporción del 25% se muelen y mezclan homogéneamente en molinos giratorios de bolas. El polvo así obtenido es almacenado en silos a la espera de ser introducidos en un horno cilíndrico con el eje ligeramente inclinado, calentado a 1600° C por ignición de carbón pulverizado, donde la mezcla caliza arcilla, sufre sucesivamente un proceso de deshidratación, otro de calcinación y por último el de vitrificación. El producto vitrificado es conducido, a la salida del horno a un molino-refrigerador en el que se obtiene un producto sólido y

pétreo conocido con el nombre de clinker, que junto a una pequeña proporción o pequeña cantidad de yeso blanco o escayola es reducido a un polvo muy fino, homogéneo y de tacto muy suave en molinos de bolas giratorias, como es el cemento, que es almacenado en silos para su posterior envasado y transporte.

5.1.1.2.1.2. Cementos Pórtland

Llamado así a su color, semejante al de la piedra de las canteras inglesas de Portland, es un conglomerante hidráulico, obtenido por la pulverización del clinker, y sin más adición que la piedra de yeso natural, en un porcentaje no superior al 5%, para retrasar el fraguado de los silicatos y aluminatos anhidros, que forman el clinker. Su color es gris, mas o menos oscuro, según la cantidad de oxido férrico.

Eventualmente puede darse la denominación comercial del cemento Portland a aquel que, además de los componentes principales, clinker y piedra de yeso, contenga otras adiciones no nocivas, en proporción inferior al 10%, con objeto de mejorar algunas cualidades.

Se fabrican varias clases de cemento, las cuales se determinan con unas siglas, compuestas de letras, que son las iniciales de su nombre y un numero indicador de la resistencia mínima a la compresión, en kilogramos por centímetro cuadrado, que, a los 28 días, debe alcanzar el mortero confeccionado con tres partes

de arena normal (97% de sílice y de granulometría fijada) y una de cemento.

Normalmente, se encuentran las siguientes categorías de cementos Portland:

TABLA VIII: Designacion Cementos

Portland 250	(Designación P-250)
Portland 350	(Designación P-350)
Portland 450	(Designación P-450)

Según: Normas Coguanor NGO 41018

5.1.1.2.1.3. Cementos aluminosos

Contienen, debido a la bauxita, altos porcentajes de aluminio. Su fórmula es $\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ H}_2\text{O}$.

El proceso de cocción nos da directamente $\text{AC} + \text{A}_3\text{C}_5 + \text{A}_5\text{C}_3$.

Estos cementos nunca se emplean en obra por ser muy inestables. Al cabo de los años siguen reaccionando y por un lado pierden resistencia llegando a desintegrarse. Además dan ALUMINOSIS, el hormigón se deshace y llega a dejar la armadura desprotegida. Si además el ambiente es muy agresivo es muy peligroso para la estructura.

5.1.1.2.1.4. Cementos naturales

Son componentes cementosos menos elaborados que el clinker. Se utilizan muy poco como cementos, se usan más como adiciones.

El cemento natural, llamado romano, atendiendo a su principio y fin de fraguado, se divide en:

- Cemento rápido. De aspecto y color terroso, por su alto contenido en arcilla (del 26% al 40%), es un aglomerante obtenido por trituración, cocción y reducción a polvo de margas calizas que, en la fase de cocción, ha sido sometido a una temperatura entre 1000° y 2000° C.

El principio de fraguado se origina entre los 3 y 5 minutos después de amasado, y se termina antes de los 50 minutos.

Se designa con las letras NR, seguidas de un número, que expresa la resistencia a la compresión. Por ser la temperatura de cocción muy baja no llegan a formarse algunos silicatos, por lo que resulta un aglomerante de baja resistencia mecánica.

Normalmente, con este tipo de cemento no se hace mortero, aunque admite una cierta cantidad de arena. Se emplea en forma de pasta para usos similares a los del yeso, con la ventaja de fraguar en ambientes húmedos y de resistir a las aguas, en general.

- Cemento lento. Es de color gris, porque el contenido de arcillas de estas calizas esta comprendido entre el 21% y el 25%.

El fraguado se inicia transcurrido unos 30 minutos después de su amasado, y termina después de varias horas.

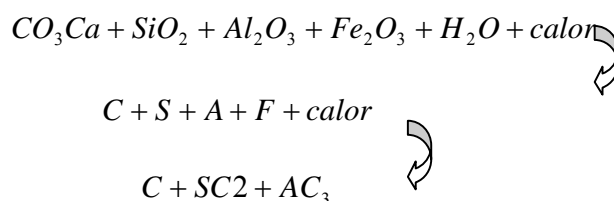
Para obtener esta clase de cemento, se calcinan las rocas calizas a una temperatura comprendida entre 1200° y 1400°C.

Se designa con las letras NL, seguidas de un numero, que expresan su resistencia a la compresión. El empleo de este tipo de cemento es cada vez mas reducido, porque sus propiedades y características han sido superadas por los cementos artificiales.

5.1.1.2.2. Cal hidráulica

Es una variante de la cal viva. El porcentaje de arcilla en la roca caliza es superior al 5%, la cal que se obtiene posee propiedades hidráulicas, aun manteniendo las propiedades de la cal grasa. Por consiguiente, este tipo de cal puede fraguar y endurecer en el aire y debajo del agua.

Tienen dos procesos de reacción:



Donde:

CO_3Ca =Carbonato de Calcio

SiO_2 = Oxido de Silicio

Al_2O_3 = Oxido de Aluminio

Fe_2O_3 = Oxido Ferrico

H_2O = Agua

Entre los dos últimos pasos se procede a la molturación.

El último componente que tenemos se apaga con agua en autoclave, con condiciones concretas de presión y temperatura el agua solo reacciona con la cal viva (C). Los otros componentes no reaccionan con el agua. Así nos queda $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$, este componente si necesita ser molturado.

5.1.1.2.2.1. Usos de la cal hidráulica

La cal apagada, ligeramente soluble en agua, se mezcla con arena y agua para hacer el mortero. Una vez usada en el mortero la cal recupera el CO_2 tomándolo de la atmósfera y se transforma otra vez en carbonato cálcico (lo que se conoce como *fraguado*), recuperando su dureza original y devolviendo el agua que asimiló en el proceso de apagado.

Este mismo proceso es el fundamento del uso de la cal para la elaboración de pinturas murales con la técnica del fresco. La cal mezclada con arena y agua del revoque que se ha utilizado como base de las pinturas, se va endureciendo progresivamente al contacto con el anhídrido carbónico del aire. Este endurecimiento recupera en parte la caliza originaria, formando carbonato de calcio, con lo cual se consigue fijar los colores del fresco.

La cal apagada desleída en agua, es lo que constituye la lechada de cal, que tradicionalmente se ha utilizado para enjalbegar las

paredes de las casas. La cal apagada es una base fuerte, que absorbe con intensidad el anhídrido carbónico del aire, recubriéndose de una película blanca de carbonato de cal. Esto es lo que ocurre cuando dejamos secar la cal después de extenderla por la pared. Esta película tiene un marcado color blanco y resulta impermeable al agua, siendo este el motivo del uso tan extendido de la cal para recubrir tapias y fachadas en nuestros pueblos.

5.1.1.3. Aglomerantes hidrocarbonatos

5.1.1.3.1. Alquitrán

Conjunto de hidrocarburos que se obtienen de la destilación de sustancias que tienen materia orgánica como la hulla, la turba, la antracita.

El alquitrán no se obtiene como producto, sino como subproducto. Normalmente estos carbones vegetales (hulla, antracita), los calentamos para que se desprendan los hidrocarburos que guardan en su interior y entonces obtenemos el gas ciudad. Este gas va por unas tuberías, y en las tuberías encontramos un residuo viscoso que es a lo que llamamos alquitrán en bruto. Este alquitrán se le somete a un proceso de destilación, donde vamos separando aceites de distinta finura, y al final nos va a quedar sólo la brea. Con la brea y con aceites de distintas densidades, vamos a obtener el alquitrán con el que vamos a trabajar.

El principal inconveniente es un rápido envejecimiento que conlleva un endurecimiento de la capa más externa, que se haría frágil y podría romperse e incluso desaparecer.

Alquitranes que encontramos en el mercado

- Alquitranes con breas duras y aceites ligeros
- Alquitranes con breas menos duras y aceites más pesados

5.1.1.3.2. Asfaltos

Capa del pavimento resultante de cubrir la base, que puede ser granular o de grava-cemento, por una mezcla de áridos gruesos, áridos finos y un ligante bituminoso en proporciones previamente establecidas. Este último puede ser alquitrán, betún o emulsión asfáltica, o mezcla de los dos.

5.1.1.3.2.1. Propiedades del asfalto como aglomerante

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se le combina usualmente. Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

5.1.1.3.3. Betún

Mezcla de hidrocarburos naturales o pirogenados(aquellos que se han sometido a tratamientos de calor); y son esencialmente solubles en sulfuro de carbono o en tricloroetileno.

Los betunes naturales son aquellos que aparecen en la naturaleza. El origen de estos betunes está en los petróleos que han subido a la superficie a través de fisuras y se han depositado allí; con el tiempo los materiales mas ligeros que lo componían se evaporaron, quedando los componentes de mayor viscosidad.

Si estos betunes, los unimos a betunes artificiales, pues les confieren mejoras en cuanto a resistencias y durabilidad. A veces estos betunes impregnan rocas porosas y se las conoce como rocas asfálticas; y fueron el primer material bituminoso utilizado en pavimentación.

5.1.1.3.3.1. Procedencia de los betunes

- **Petróleos asfálticos:** Son aquellos petróleos que guardan en su interior gran cantidad de hidrocarburos cíclicos y aromáticos. Son los que van a producir mayor cantidad de betunes y de mayor calidad.
- **Petróleos parafínicos:** Los hidrocarburos que tienen en su interior son cadenas lineales.
- **Petróleos semiasfálticos:** Tienen contenidos intermedios de los dos anteriores.

5.1.1.3.3.2. Características de los betunes

- Fácil puesta en obra.
- Buena adhesividad a los áridos con los que los vamos a unir.
- Buena cohesión entre las partículas, para que pueda soportar sin romperse a los esfuerzos a los que le vamos a someter.
- Baja susceptibilidad térmica; esto significa que cuando se ponga en obra tenga comportamiento plástico, ya que este material viscoso cuando se calienta puede llegar a deformarse permanentemente y cuando esta sometido a bajas temperaturas se fragiliza pudiendo llegar a romperse.
- Envejecimiento lento; para que no pierda las características con el tiempo y que así resulte más rentable el material.
- Elevada impermeabilidad.

5.1.2. Agregados⁴⁹

Estos elementos son muy importantes por ser el material mas económico que el cemento y por su facilidad de obtención, pero también por ser el elemento que da cuerpo (forma la estructura interna) al concreto, teniendo que cumplir con la especificaciones y proporciones de grava y arena, su tamaño requerido, limpieza, lugar de procedencia y, en general, de la calidad de estos agregados y por sus características físicas, químicas y mecánicas dependerán directamente los resultados buscados.

5.1.2.1. Propiedades y características

Al examinar la aptitud física de los agregados en general, es conveniente diferenciar las características que son inherentes a la calidad esencial de las rocas constitutivas, de los aspectos externos que corresponden a sus

fragmentos. Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca de las rocas, destacan su peso específico, sanidad, porosidad y absorción, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, módulo de elasticidad y propiedades térmicas.

5.1.2.1.1. Peso específico

Es frecuente citar el término densidad al referirse a los agregados, pero aplicado más bien en sentido conceptual. Por definición, la densidad de un sólido es la masa de la unidad de volumen de su porción impermeable, a una temperatura especificada, y la densidad aparente es el mismo concepto, pero utilizando el peso en el aire en vez de la masa. Ambas determinaciones suelen expresarse en gramos entre centímetro cúbico (g/cm^3) y no son rigurosamente aplicadas en las pruebas que normalmente se utilizan en la tecnología del concreto, salvo en el caso del cemento y otros materiales finamente divididos.

5.1.2.1.2. Porosidad y absorción

Todas las rocas que constituyen los agregados de peso normal son porosas en mayor o menor grado, pero algunas poseen un sistema de poros que incluye numerosos vacíos relativamente grandes (visibles al microscopio), que en su mayoría se hallan interconectados, y que las hace permeables. De este modo algunas rocas, aunque poseen un bajo porcentaje de porosidad, manifiestan un coeficiente de permeabilidad comparativamente alto, es decir, más que el contenido de vacíos influye en este aspecto su forma, tamaño y distribución.

5.1.2.1.3. Sanidad

En la terminología aplicable, la sanidad se define como la condición de un sólido que se halla libre de grietas, defectos y fisuras. Particularizando para el caso de los agregados, la sanidad se describe como su aptitud para soportar la acción agresiva a que se exponga el concreto que los contiene, especialmente la que corresponde al intemperismo. En estos términos, resulta evidente la estrecha relación que se plantea entre la sanidad de los agregados y la durabilidad del concreto en ciertas condiciones.

5.1.2.1.4. Resistencia mecánica

De acuerdo con el aspecto general del concreto convencional, en este concreto las partículas de los agregados permanecen dispersas en la pasta de cemento y de este modo no se produce cabal contacto permanente entre ellas. En tal concepto, la resistencia mecánica del concreto endurecido, especialmente a compresión, depende más de la resistencia de la pasta de cemento y de su adherencia con los agregados, que de la resistencia propia de los agregados solos. Sin embargo, cuando se trata del concreto de muy alta resistencia, con valores superiores a los 500 kg./cm², o del concreto compactado con rodillo (CCR) en que si se produce contacto entre las partículas de los agregados, la resistencia mecánica de éstos adquiere mayor influencia en la del concreto.

5.1.2.1.5. Resistencia a la abrasión

La resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es

una característica que suele considerarse como un índice de su calidad en general, y en particular de su capacidad para producir concretos durables en condiciones de servicio donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo. Asimismo, se le considera un buen indicio de su aptitud para soportar sin daño, las acciones de quebrantamiento que frecuentemente recibe el agregado grueso en el curso de su manejo previo a la fabricación del concreto.

5.1.2.1.6. Modulo de elasticidad

Las propiedades elásticas del agregado grueso, son características que interesan en la medida que afectan las correspondientes del concreto endurecido, en particular su módulo de elasticidad y su relación de Poisson.

5.1.2.1.7. Propiedades térmicas

El comportamiento del concreto sometido a cambios de temperatura, resulta notablemente influido por las propiedades térmicas de los agregados; sin embargo, como estas propiedades no constituyen normalmente una base para la selección de los agregados, lo procedente es verificar las propiedades térmicas que manifiesta el concreto, para tomarlas en cuenta al diseñar aquellas estructuras en que su influencia es importante.

5.1.2.2. Clasificación

5.1.2.2.1. Agregados gruesos

Los agregados gruesos que se utilizan al mismo tiempo que las arenas para la dosificación de los concretos, deberán satisfacer las condiciones de estas, debiendo estar limpios, ser resistentes y tener una composición química estable. El agregado grueso es un material granulado como la grava o piedra triturada, usado en la dosificación del concreto.

El agregado grueso, según la COGUANOR NGO 41 006 "Terminología referente al hormigón y a los agregados para hormigón" , se define de la siguiente manera:

1. Agregado predominantemente retenido sobre el tamiz No. 4 (4.75mm.); o
2. Aquella porción de un agregado retenida sobre el tamiz No. 4 (4.75mm.).

Es importante hacer notar que la aplicación de una u otra de estas definiciones depende de las circunstancias; así como la definición (1) se aplica a la totalidad de un agregado bien sea en su estado natural o después de haber sido procesado, y la definición (2) se aplica a una porción de un agregado. Las propiedades y la granulometría requeridas deben ser declaradas en las especificaciones del caso.

5.1.2.2.1.1. Forma de los granos

Se ha comprobado que la masa de los agregados gruesos que presentan mayor resistencia y compacidad es la constituida por

partículas de forma aproximadamente esférica, debido a que se reduce el porcentaje de vacíos que existe entre las partículas haciendo la masa de los agregados mas compacta.

5.1.2.2.1.2. Preparación de los agregados

Los agregados deben prepararse para su empleo de la forma siguiente:

- a) Tamizándolos, para obtener sus distintos gruesos de acuerdo con el agregado del que se requiera.
- b) Lavándolos, para eliminar sales, arcillas y otras sustancias extrañas.
- c) Secarlos si en caso fuera necesario para su empleo.

5.1.2.2.1.3. Tamizado y lavado

El tamizado y lavado de los agregados es un trabajo que se considera indispensable, cuando se quieren obtener materiales inertes que garanticen la futura calidad del concreto.

De los bancos naturales y de la trituración de las rocas nunca se obtienen agregados con granulometría que satisfaga las normas, por lo que es necesario el tamizado cuyo objeto es lograr una selección dependiendo de los tamaños de los granos; esta operación se puede hacer mediante sistemas mecánicos y manuales, de acuerdo con la necesidad a satisfacer.

5.1.2.2.2. Agregados finos

La arena está constituida por granos sueltos y de estructura cristalina que provienen de la disgregación de las rocas naturales, por procesos mecánicos o químicos que arrastrados por corrientes de agua o aire se acumulan en diferentes lugares. Las arenas artificiales se obtienen mediante la trituración y molienda de rocas duras determinadas.

De acuerdo con su origen, las arenas toman los siguientes nombres.

1. Sílicas o cuarzonas.
2. Calizas.
3. Graníticas y arcillosas.

Para Guatemala la "terminología referente al hormigón y a los agregados para hormigón la establece la COGUANOR NGO 41 006, y define el agregado fino de la siguiente manera:

1. Agregado que pasa el tamiz No. 9.5mm., que pasa casi completamente el tamiz No. 4 (4.75mm.) y es retenido casi en su totalidad por el tamiz No. 200 (75 μ m).
2. Aquella porción de un agregado que pasa por el tamiz No. 4 (4.75mm) y que es retenida sobre el tamiz No. 200(75 μ m).

Es importante aclarar que la aplicación de una u otra de estas aplicaciones depende de las circunstancias; Así: la definición (1) si aplica a la totalidad de un agregado bien sea en un estado natural o después de haber sido procesado y, la definición (2) se aplica a una

porción de un agregado. Las propiedades y la granulometría, requeridas deben ser declaradas en la especificaciones del caso.

Con respecto a su dureza y estabilidad química las arenas sílicas son mejores; las arenas calizas provienen de rocas calizas muy duras, no aceptando las de tipo blando. Las arenas de origen granítico, por su alterabilidad y por su poco homogeneidad, no deben usarse salvo en el caso de que contengan bastante cuarzo.

5.1.2.2.2.1. Tipos de arena

Las arenas de acuerdo a su procedencia o a su localización se denominan: a) De río, b) De mina, c) De playa o duna, d).
Artificiales.

- a) Las arenas de río, generalmente de partículas redondas por el acarreo que han sufrido, pueden contener arcillas y otras impurezas como la materia orgánica, o bien ser demasiado finas, según su localización.
- b) Las arenas de minas son las depositadas en el interior de la tierra; están generalmente formadas por granos angulosos, conteniendo arcillas y materias orgánicas dependiendo de la cantidad y de la calidad de las impurezas que contienen estas arenas, se presentan en color azul, gris pardo y rosa. Las arenas de color azul presentan un porcentaje de pureza mayor que las dos restantes debido a que las arenas de color gris pardo tienen un alto porcentaje de polvo y las

rosas contienen óxido, pero mediante el procesado de tamizado y lavado se puede mejorar para su aprovechamiento.

- c) Las arenas de playa o duna solamente se pueden emplear mediante un proceso de lavado con agua dulce, siempre y cuando tengan la granulometría adecuada, pues contienen sales alcalinas que absorben la humedad, dando con el tiempo cambios perjudiciales en la resistencia del concreto.
- d) Las arenas artificiales son de granos angulosos y superficies rugosas; no contienen polvo suelto por el proceso de tamizado y selección a que son sometidas después de ser trituradas y molidas. Son aptas para los morteros y concretos siempre y cuando provengan de rocas duras y no tengan aristas vivas y ángulos muy agudos, pues esto hace que disminuya la resistencia del concreto.

5.1.2.2.2.2. Forma de los granos

Cuando se requiere máxima resistencia e impermeabilidad, es necesario que el agregado presente la máxima compactibilidad o sea que presente el mínimo porcentaje de vacíos y cuando solo se necesita determinada resistencia basta que la lechada (aglutinante de cemento y agua) sea lo suficiente para cubrir la superficie de contacto de partículas del agregado.

Se a comprobado que la misma forma esférica de los granos, además de proporcionar morteros mas manejables y resistentes,

proporcionan también mezclas mas económicas, ya que los granos de forma alargada o con aristas vivas representan, con relación al volumen, un área mucho mayor que es preciso cubrir con la lechada. Las arenas de forma esférica, además de presentar una masa mas compacta que otra de granos angulosos, y proporcionen menor superficie de contacto entre si y menos superficie a recubrir con lechadas, por consiguiente cuanto mas se aproxime la forma de los granos a la esfera, tanto más compactos, resistentes y económicos resultarán los concretos.

5.1.2.2.3. Tamaño de los granos

El tamaño de las granos de la arena es muy importante en la dosificación de morteros, y la proporción en la que se encuentran los granos de distinto tamaño; constituye la composición granulométrica de la muestra y la optima estructura granulométrica es aquella en la que combinan granos finos, medianos y gruesos, para dar la máxima compactidad y reducir de esta forma el porcentaje de vacíos, es decir, cuando los granos finos llenan los vacíos de los granos medianos y estos llenan los vacíos de los granos gruesos.

5.1.2.2.3. Agregados de baja densidad

Los agregados livianos, al igual por los compuestos para concreto normal, deberán satisfacer la condición de estar limpios, ser resistentes y de forma y tamaños adecuados y de composición estable. Las propiedades de los agregados livianos son muy variables por lo que la resistencia del concreto depende de las propiedades físicas del agregado liviano que se utilice para su dosificación.

La "terminología referente al hormigón y a los agregados para el hormigón" establecida por la COGUANOR NGO 41 006, define agregado liviano de la forma siguiente:

Agregado de baja densidad usado en la producción de hormigón liviano. Tales agregados incluyen arcilla en forma suelta o en forma compresionada, esquisto, pizarra, esquisto diatomáceo, perlita, vermiculita o escoria, piedra pómez, escoria volcánica, tufa, diatomita, ceniza muy fina compresionada y cenizas industriales.

Los concretos elaborados con agregados livianos presentan una resistencia menor que los concretos dosificados con agregados mas pesados y resistentes utilizados para diseño estructural, sin embargo estos concretos de baja resistencia tienen propiedades aislantes mejores y las contracciones que sufren son mayores que las de los normales.

5.1.2.2.4. Agregados de alta densidad

Estos agregados son aquellos cuya masa específica (densidad relativa) es mayor de 3.000 kg/m^3 . Los materiales de este tipo son: magnetitas, barritas, limonita, ferro fósforo y balines o rebabas de acero. Estos aglomerados de gran peso se usan en lugar de grava a fin de producir concreto de alta densidad; por ejemplo, los que se emplean para forrar reactores nucleares. Si se utilizan agregados pesados, como trozos de acero, se obtienen mezclas densas de 4.000 kg/m^3 .

5.1.2.2.5. Agregados de escoria de altos hornos

Al tener el hierro fundido en el alto horno por cada 1000 toneladas de fundición se obtienen 700 toneladas de escoria. Según el tratamiento del baño fundido después de la colada de alto horno, la escoria que se obtiene es la escoria compacta, la escoria esponjosa o pómez siderúrgica, la arena de escoria granulada, o bien la lana de escorias que es de estructura fibrosa. Exceptuando esta última que se emplea como aislante térmico, todas las otras variedades de las escorias de altos hornos se emplean para preparar concreto.

La forma o variedad básica más importante para la fabricación de concreto ligero es la escoria espumosa o esponjosa de altos hornos; antes se denominaba pómez artificial, actualmente se denomina pómez siderúrgica.

La escoria fundida incandescente se envía a unos dispositivos especiales con ruedas espumadoras, tornillos esponjadores o cubetas, donde se ponen en contacto con el agua, con lo cual se enfrían violentamente y se contraen quedando solidificada con poros de tamaño mediano y grande.

Hay tipos muy ligeros y poco resistentes que sirven principalmente para aislamientos y otras variedades bastante sólidas y muy resistentes, con pesos específicos mayores, que dan concretos ligeros que pueden soportar cargas. La piedra pómez siderúrgica es el árido apropiado para la fabricación de bloques esponjosos siderúrgicos, que aglomerados con cal o cemento y endurecidos al aire, con vapor o con gas carbónico, proporcionan resistencias de 20 a 30 kg/cm².es

también utilizada para el moldeo in situ de paredes, la fabricación de bloques y placas de concreto ligero.

La propiedad química más significativa de la escoria espumosa cuando se usa como agregado de concreto es su hidraulicidad.

5.1.2.3. Métodos y procedimiento de fabricación

Los agregados se extraen de los subsuelos, la toma de muestra de los áridos varían según la fuente de suministro que se trate, ya sea de:

De Canteras: Aquellos depósitos de roca , en forma consolidada , y en volumen y características físicas y químicas suficientes como para justificar la extracción y uso en la elaboración de agregados.

De Depósitos sueltos: Que fueron formados por acción eólica , glaciación o hidrológica y se encuentran localizados en las faldas de montañas , en lechos secos de ríos , y en antiguos valles o canales submarinos. Estos depósitos tienen la ventaja de que su mineral se puede extraer mas fácilmente.

De ríos o lagunas: Representan fuentes de agregado procesado naturalmente por el flujo y las corrientes de agua, y poseen una gran variedad de minerales, proveniente de todos los sitios por donde pasa el curso del río.

A continuación se prosigue con el procesamiento. En el caso de la arena sólo se criba, pero si se trata de grava, se tritura en diversas fases, según se requiera, hasta que, mediante bandas de transportación arriba a una quebradora, en donde se obtiene el material en las medidas requeridas; éste se clasifica y almacena cuidadosamente para evitar

contaminación y segregación. Es recomendable que la transportación implique el menor movimiento posible ya que eso puede afectar la curva granulométrica por fractura del material.

Dos formas de limpiar la grava contaminada son: el cribado, antes de que ingrese a la quebradora, proceso mediante el cual el material es sacudido repetidas ocasiones provocando la caída de contaminantes, y el lavado, mediante chorros de agua a presión que caen a las cribas. La arena se lava mediante helicoidales inclinados, que a la vez que remueven el material con agua, ésta lo impulsa a la salida.

5.1.3. Morteros^{24,19,40}

En construcción se da el nombre de mortero a una mezcla de uno o dos conglomerantes y arena. Amasada con agua, la mezcla da lugar a una pasta plástica o fluida que después fragua y endurece a consecuencia de unos procesos químicos que en ella se producen.

El mortero se adhiere a las superficies más o menos irregulares de los ladrillos o bloques y da al conjunto cierta compacidad y resistencia a la compresión.

Los morteros se denominan según el conglomerante utilizado: mortero de cal o de yeso. Aquellos en los que intervienen dos conglomerantes reciben el nombre de morteros bastardos.

5.1.3.1. Propiedades y características

5.1.3.1.1. Resistencia

Cuando se emplea el mortero para unir piezas de una fábrica resistente, este actúa como elemento resistente. Estas resistencias se combinan con las de otros elementos constructivos (ladrillos, bloques de hormigón, etc.).

Por lo expuesto las medidas directas de resistencia sobre el mortero no son válidas para conocer la resistencia de la obra realizada con él, pero son el criterio adoptado por las Normas Internacionales, puesto que permiten un control estadístico del mortero en sí, independientemente de los otros materiales de construcción.

5.1.3.1.2. Resistencia a flexión

Para determinarla, se confeccionan 3 probetas de unas dimensiones de 4x4x16 cm, del mortero que se está utilizando en obra, que se conservan en ambiente húmedo y se rompen a flexión a los 28 días. La resistencia a flexión del mortero será el valor medio de los 3 valores obtenidos expresado en kg/cm^2 .

5.1.3.1.3. Resistencia a compresión

Para determinarla, cada uno de los trozos del prisma roto por flexión, se ensaya después a compresión, ejerciendo el esfuerzo sobre una sección de 4x4 cm. La resistencia a compresión del mortero será el valor medio de los 6 valores obtenidos, expresado en kg/cm^2 .

La resistencia a compresión de un mortero se realizará de acuerdo con el método operativo, utilizando para los ensayos los materiales que se emplean en obra.

Cuando se realiza un mortero tipo, no es necesario comprobar su resistencia, aceptándose los valores de la tabla siguiente en donde se utilizara la clasificación de tipos de mortero según su resistencia y se nombran M – (Resistencia Kg/cm²):

TABLA IX: Tipo de mortero y resistencia

MORTERO TIPO	RESISTENCIA kg/cm ²	MORTERO TIPO	RESISTENCIA kg/cm ²
M-20	20	M- 80	80
M-40	40	M-160	160

Fuente: FAUNDEZ, Daniel y LUNA, Paloma. Estudio Teórico – Experimental de las Propiedades de los Morteros de Junta para Albañilería.

La misma establece las dosificaciones en volumen para la obtención de los morteros tipo con una cantidad de agua necesaria para que en el cono de Abrams den un asentamiento de 17±2 cm.

TABLA X: Proporciones de morteros

		Partes en volumen de sus componentes			
Mortero	Tipo	Cemento	Cal aérea	Cal hidráulica	Arena al
M-20	a	1	-	-	8
	b	1	2	-	10
	c	-	-	1	3
M-40	a	1	-	-	6
	b	1	1	-	7
M-80	a	1	-	-	4
	b	1	½	-	4
M-160	a	1	-	-	3
	b	1	¼	-	3

Fuente: FAUNDEZ, Daniel y LUNA, Paloma. Estudio Teórico – Experimental de las Propiedades de los Morteros de Junta para Albañilería.

5.1.3.1.4. Adherencia

En principio, es la principal cualidad que se exige un mortero, ya que de ella depende la resistencia de los muros frente a sollicitaciones de cargas excéntricas, transversales, o de pandeo, la estabilidad de los recubrimientos bajo tracciones externas o internas y la perfecta unión de azulejos o losas a sus bases respectivas.

Esta propiedad se da tanto en el mortero fresco como en el endurecido, aunque por distintas causas.

- En el mortero fresco: La adherencia es debida a las propiedades reológicas de la pasta de cemento o cal. La adherencia en fresco puede comprobarse aplicando el mortero entre dos elementos a unir y separándolos luego al cabo de algunos minutos. Si el mortero permanece adherido a las dos superficies, existe buena adherencia.

En cambio, si se desprende con facilidad y no deja apenas señales en las bases, la adherencia es mala. En obra, esto es de gran interés, pues permite juzgar la calidad de un mortero, simplemente levantando un ladrillo colocado recientemente sobre él.

- En el mortero endurecido: La adherencia depende, fundamentalmente, de la naturaleza de la superficie sobre la que se haya aplicado, de su porosidad y rugosidad, así como de la granulometría de la arena. Cuando se coloca el mortero fresco sobre una base absorbente, parte del agua de amasado, que contiene en disolución o en estado coloidal los componentes del conglomerante, penetra por los poros de la base produciéndose, en el interior de ésta, fenómenos de precipitación y transcurrido un cierto tiempo se produce el fraguado, con lo que estos precipitados ejercen una acción de anclaje del mortero a la base, lográndose así la adherencia.

Interesa, por tanto, que el mortero ceda fácilmente agua al soporte, y que la succión se produzca de manera continua, sin que existan burbujas de aire que la corten (como ocurriría con los morteros aireados).

Existen numerosos estudios sobre la adherencia de los morteros a distintos soportes. Existe un ensayo A.S.T.M. de adherencia entre dos bloques o dos ladrillos cruzados, unidos con una junta de mortero. Otros ensayos arrancan a tracción morteros colocados sobre distintas bases mediante chapas metálicas adheridas con resinas epoxícas a cilindros precortados en el mortero, o bien ensayan juntas ladrillo-mortero-ladrillo, con los ladrillos unidos a las placas tractoras con la citada resina.

Otros, someten a compresión soportes recubiertos de mortero y observan como se desprende este o utilizan probetas bloque-mortero-bloque que someten a flexotracción, o bien paneles de muro que cargan transversalmente hasta la rotura.

5.1.3.1.5. Retracción

Las pastas puras, si poseen alta relación agua / conglomerante, se retraen al perder el agua en exceso de que están compuestos. Parte de esa retracción es consecuencia de las reacciones químicas de hidratación de la pasta, pero el efecto principalmente se debe al secado.

Si se trata de un mortero, la arena actúa como esqueleto sólido que evita en parte los cambios volumétricos por secado y el peligro de agrietamiento subsiguiente. Si el secado es lento, el mortero tiene

tiempo de alcanzar suficiente resistencia a tracción como para soportar las tensiones internas que se forman; pero cuando el tiempo es caluroso o con fuerte viento, que favorece la evaporación, la pérdida de agua origina grietas de retracción, fácilmente apreciables en los recubrimientos a los que divide en porciones más o menos poligonales.

5.1.3.1.6. Durabilidad

Desde el mismo momento de la utilización de un mortero, existen una serie de factores que tienden a destruirlo, veamos cada uno de ellos y los métodos que se emplean para paliar los efectos.

5.1.3.1.7. Heladicidad

Cuando un mortero aun fresco se encuentra sometido a temperaturas comprendidas entre 5° y 10°C, las reacciones de hidratación del cemento son tan lentas que el mortero no fragua y, por tanto, no se puede realizar ningún trabajo con él. Si el mortero ya ha iniciado su fraguado o se trata de un mortero endurecido, pero saturado de agua, que permanece a temperatura inferior a 0°C, el agua contenida en los poros se congela, con lo que aumenta notablemente de volumen, ejerciendo una presión sobre los canales del conglomerante que puede llegar a disgregarlo.

5.1.3.1.8. Penetración de humedad

Cuando un muro, recubierto o no, está sometido a lluvia prolongada, o se encuentra en una zona de alta condensación de humedad, el agua penetra por capilaridad a su través.

En el caso de muros recubiertos y agrietados, el agua penetra en estado líquido por las fisuras, pero al secarse el muro por efecto del sol, el agua evaporada tiene dificultad para salir por las zonas no fisuradas, por lo que el mismo permanece húmedo por largos períodos de tiempo, con la consiguiente merma de resistencias y peligro de mohos, eflorescencias y manchas en el interior de los paramentos.

Para mejorar la impermeabilidad de la obra, se incrementará la densidad del recubrimiento, mediante la utilización de morteros bastardos. En estos, la cal se carbonata con el tiempo y taponan los canales y poros del mortero. Las prácticas empleadas en construcción que favorecen la adherencia mejoran también la impermeabilidad, como es el golpeteo sobre el ladrillo recién colocado.

Cuando se precise una impermeabilización elevada, será necesario recurrir a las pinturas e impregnaciones protectoras (fluosilicatos, juntas de sellado, etc.), así como el empleo de aditivos hidrófugos que repelen la humedad. La impermeabilización perfecta se consigue con láminas impermeables de tipo plástico.

5.1.3.1.9. Eflorescencias

Las eflorescencias pueden ser debidas a cualquier sal soluble, pero las más frecuentes son las producidas por sulfatos, nitratos y cloruros. Las sales, sobre todo el SO_4Na_2 pueden provenir del ladrillo, del cemento, del árido, del agua, de reacciones ladrillo-mortero, del suelo y de los aditivos.

Al hidratarse el cemento siempre nos va a aportar sales solubles, salvo en el caso en que se fijen estas con puzolanas.

Cuando las eflorescencias se han presentado ya en una obra terminada, exigen su limpieza y eliminación. Si son producidas por sulfatos solubles, suelen eliminarse fácilmente por lavados sucesivos con el agua de lluvia, o lavándolas con soluciones débilmente jabonosas. Las causadas por nitratos son más resistentes y precisan de cepillado enérgico con escobillas metálicas.

Las eflorescencias, no son por lo general perjudiciales para la durabilidad de los morteros, sino solo manchas que perjudican su aspecto.

5.1.3.1.10. Ataque por agentes externos

El mortero puede ser atacado por productos sólidos, líquidos y gaseosos. Los sólidos pueden realizar un ataque puramente mecánico, por ejemplo, por abrasión, debida al polvo arrastrado por el viento, roces de diversos elementos sobre el muro, etc. Para evitarlo, se puede proteger la superficie del mortero con endurecedores del tipo de los fluosilicatos de cinc y aluminio, impregnaciones con resinas, etc.

Pero el ataque más peligroso es el químico, producido por suelos húmicos susceptibles de liberar sales solubles, capaces de dar eflorescencias, o suelos yesosos, que pueden disgregar el mortero, o los que poseen bajos valores de Ph que atacan al mortero por su carácter ácido. También las sales marinas arrastradas por el viento y depositadas sobre los muros provocan ataque por cloruros.

Los líquidos agresivos pueden serlo por si mismos, o por las sales que llevan disueltas, como los que pueden provocar eflorescencias, o productos expansivos con el mortero. El ataque por suelos agresivos, se realiza a través de las aguas de lluvia, que disuelven los iones peligrosos ($\text{SO}_4=$ Cl^- , NO_3^- , H^+ , etc.).

Los líquidos agresivos por si mismos son:

- Los que poseen carácter ácido (ácidos minerales, ácidos orgánicos procedentes de fermentaciones de productos alimenticios como vinagres, leche, vino, ciertos productos de limpieza, etc.). Atacan porque este posee carácter básico, de Ph aproximadamente igual a 11, e incluso superiores en los morteros bastardos.
- Aguas muy puras (agua de deshielo, agua de condensación), que disuelven las sales del mortero.
- Grasas vegetales alimenticias y aceites minerales, provenientes de la combustión incompleta de carburantes.
- Aguas con materia orgánica en descomposición, etc.

Entre los gases corrosivos para el mortero, los más corrientes son:

- SO_2 , proveniente de la combustión de carburantes industriales y domésticos que contengan azufre (especialmente carbón y aceites pesados). Puede llegar a transformarse en ácido sulfúrico, con gran poder corrosivo.
- CO_2 , existente en la atmósfera como producto final de toda combustión de productos carbonados (combustibles, respiración animal y vegetal, etc.). Por su carácter ácido, ataca por carbonatación al mortero. Sin embargo es de interés su reacción con la cal, que constituye la base del endurecimiento de esta.

- NH_3 , que proviene de la descomposición de la urea (establos, fosas sépticas, etc.), así como de usos industriales, abonos, descomposición microbiana de sustancias proteicas, etc. produce la disgregación del mortero por su carácter básico, ya que sustituye al calcio en los productos de hidratación del cemento y da silicatos solubles fácilmente arrastrados por el agua de lluvia.

Las agresiones de estos agentes se pueden paliar con el empleo de morteros de cementos tipo CEM III, CEM IV y los cementos que tengan como características adicionales SR y/o MR. Los morteros bastardos, por su contenido en cal no combinada, y los morteros aireados, por su menor densidad, son más fácilmente atacados por los ácidos y gases corrosivos.

5.1.3.1.11. Choque térmico

Un mortero, sometido a las altas temperaturas desarrolladas en un incendio, sufre una serie de cambios que afectan a su resistencia mecánica. En general, a temperaturas superiores a 250°C , las propiedades resistentes del mortero sufren una caída irreversible, quedando también afectado el color de este.

5.1.3.2. Tipos

5.1.3.2.1. Mortero de cemento de base Pórtland

Es el mortero en que se utiliza cemento como conglomerante. Para estos morteros deberán emplearse cementos cuya clase no sea

superior a 32.5 N/mm², siendo este el tipo de cemento más adecuado, según el fin al que se destine.

Los morteros con escasez de cemento dan morteros ásperos, por entrar en fricción los granos de arena que los componen y son difíciles de trabajar. Si por el contrario, la cantidad de cemento que contiene es excesiva, producirá retracciones, apareciendo fisuras.

5.1.3.2.2. Mortero de cemento de aluminato de calcio

Fabricados a base de cemento de aluminato de calcio, arena y agua. Se deberá tener muy en cuenta en su empleo, la considerable reacción térmica que se produce durante el fraguado y que puede llegar a evaporar el agua de amasado; es necesario controlar esta temperatura para que no sobrepase los 30°C. Se utilizan en taponamientos de vías de agua. Si en este tipo de morteros la arena es del tipo refractaria obtenemos los morteros refractarios.

5.1.3.2.3. Mortero de cal

Formados por cal y arena. La cal puede ser aérea o hidráulica, de diferentes tipos. En cualquier caso, las resistencias mecánicas de estos morteros son bajas y en particular los confeccionados con cal aérea, si bien en un mortero, muchas veces, no se pretende tener resistencias mecánicas altas y son más importantes otras propiedades como pueden ser la plasticidad, trabajabilidad, el color, etc.

5.1.3.2.4. Morteros bastardos o mixtos

Son morteros compuestos por dos clases de conglomerantes compatibles, es decir, cemento y cal. Se caracterizan por su alta trabajabilidad, comunicada por la cal, presenta colores claros por lo que se utilizan como mortero de agarre en fábricas de ladrillo cara vista.

En el mortero compuesto por cal y cemento, actualmente, ya no se usa la cal como plastificante, empleándose otros aditivos que realizan esta función. A pesar de ello, existen varias regiones donde se emplean los morteros de cemento con arena muy fina (arena de playa) en revestimientos de paramentos interiores, acabándolos con un pasteado de cal en sustitución del yeso, debido a la higroscopicidad de éste.

5.1.3.2.5. Morteros especiales

5.1.3.2.5.1. Morteros de cemento-cola

Son morteros fabricados con un conglomerante a base de mezclas de cemento de base Portland y resinas de origen orgánico. La relación agua / cemento expresada en peso, variará según el tipo de resina. Para la fabricación de estos morteros se utilizan arenas finas, las que pasen por un tamiz de 0,32 mm de luz de malla. Son morteros muy finos y de una gran adherencia. Se utilizan para la ejecución de alicatados y solados. Necesitan poca agua para su amasado y endurecen rápidamente.

5.1.3.2.5.2. Morteros con aditivos

Se denominan de esta forma a aquellos morteros a los que se ha añadido una serie de productos de origen orgánico o inorgánico

que pueden proporcionarles características especiales, tales como aireantes; fluidificantes, activadores o retardadores del fraguado, anticongelantes, hidrofugantes, etc., así como lograr que sean expansivos u obtengan una coloración determinada.

5.1.3.2.5.3. Morteros ignífugos

Son morteros que se emplean para revestir estructuras metálicas, formadas por elementos de acero, o cualquier otro elemento al que se le tenga que proporcionar resistencia al fuego.

Actúan como protector del elemento sobre el que se aplica. Son morteros en los cuales se sustituye la arena, parcial o totalmente, por materiales resistentes al fuego, como puede ser el asbesto o amianto previamente preparado.

5.1.3.2.5.4. Morteros refractarios

Compuestos por cemento de aluminato de calcio y arena refractaria. Se emplean estos morteros para construir hornos, hogares y chimeneas, y como material de agarre para la unión de piezas refractarias. Son resistentes a altas temperaturas y a la agresión de los gases que se producen en las combustiones.

5.1.3.2.5.5. Morteros ligeros

Generalmente se confeccionan estos morteros empleando arenas de machaqueo que proceden de pumitas, riolitas o liparitas, mezclándolas con áridos expandidos por calor, como por ejemplo la perlita, vermiculita, arcillas expandidas, etc; con estas mezclas

se obtienen morteros ligeros, de poca resistencia mecánica, pero de un gran aislamiento térmico. Se emplean en cubiertas planas para dar pendiente a los faldones.

5.1.3.2.5.6. Morteros sin finos

Son morteros que se fabrican empleando sólo arenas que contengan la fracción gruesa, suprimiendo todos los tamaños de sus granos que pasan por el tamiz de 1,25 mm de luz de malla. La relación w/c es muy baja. Se caracterizan estos morteros por presentar, una vez endurecidos, una masa con muchos huecos (porosa). Se utilizan principalmente para la fabricación de piezas de mortero aligerado (de poco peso o densidad) y para pavimentos filtrantes.

5.1.4. Concretos ^{26, 24, 18, 40}

5.1.4.1. Propiedades del concreto fresco

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colocarse en una cimbra, pero esto no entra en la definición de " *plástico* " aquel material que es plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para moldar.

En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o de piedra que eran encajonados y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no están predispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en

una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona si no que fluye como liquido viscoso sin segregarse.

El revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la practica de la construcción, los elementos delgados de concreto y los elementos del concreto fuertemente reforzados requieren de mezclas trabajables, pero jamás de mezclas similares a una sopa, para tener facilidad en su colocación. Se necesita una mezcla plástica para tener resistencia y para mantener su homogeneidad durante el manejo y la colocación. Mientras que una mezcla plástica es adecuada para la mayoría con trabajos con concreto, se puede utilizar aditivos superfluidificantes para adicionar fluidez al concreto en miembros de concretos delgados o fuertemente reforzados.

5.1.4.1.1. Mezclado

Para asegurarse que los cinco componentes básicos del concreto estén combinados en una mezcla homogénea se requiere de esfuerzo y cuidado. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora representa un papel importante en la uniformidad del producto terminado. Otros factores importantes en el mezclado son el tamaño de la revoltura en la relación al tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre la dosificación y el mezclado, el diseño, la configuración y el estado del tambor mezclador y las paletas.

5.1.4.1.2. Trabajabilidad

El concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales Sólidos – Cemento, arena y piedra dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

Un sangrado excesivo aumenta la relación Agua - Cemento cerca de la superficie superior, pudiendo dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, particularmente si se llevan a cabo las operaciones de acabado mientras esta presente el agua de sangrado. Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y sangrar, es importante transportar y colocar cada carga lo mas cerca posible de su posición final. El aire incluido mejora la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

5.1.4.1.3. Consolidación

La vibración pone en movimiento a las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de la mezcla dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar hasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad

menor de agua y de cemento es necesaria con una consolidación adecuada de las mezclas mas duras y ásperas pueden ser empleadas, lo que tiene como resultado una mayor calidad y economía.

Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. De hecho, tales mezclas se pueden segregar al vibrarlas. Solo al emplear mezclas mas duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado.

El vibrado mecánico tiene muchas ventajas. Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que no son faciles de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

5.1.4.1.4. Hidratación, tiempo de fraguado, endurecimiento

La propiedad de liga de las pastas de cemento Portland se debe a la reacción química entre el cemento y el agua llamada hidratación.

El cemento Portland no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90% o mas del peso del cemento Portland y son: el silicato tricalcico, el silicato dicalcico, el aluminiato tricalcico y el aluminio ferrito tetracalcico. Además de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación. Los tipos de cemento Portland contienen los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de

calcio. Este último es con mucho el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, - fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional - principalmente depende del gel del hidrato de silicato de calcio. Es la medula del concreto.

Cuando el concreto fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna. La resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho mas resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la que sea absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable. Aún entonces, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima Agua – Cemento (en peso) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22 a 0.25.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida de que el cemento se hidrata puede ser útil para planear la construcción. En invierno, el calor de hidratación ayudará a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación. Sin embargo, el calor puede ser en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer. El cemento Portland tipo 1 libera un poco mas de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo 3, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo

2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar mas de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor. El uso de cemento tipo 4, cemento Portland de bajo calor de hidratación, se debe de tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque la velocidad determina el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del Clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.

5.1.4.2. Materiales constituyentes

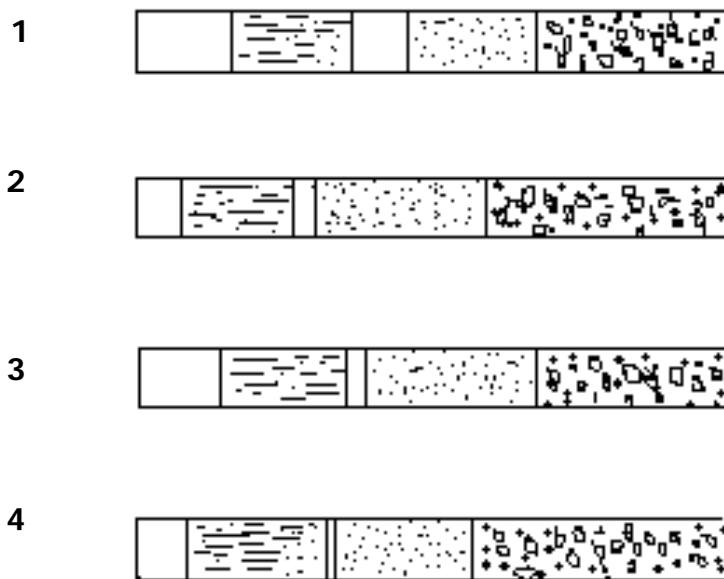
El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes:

La pasta esta compuesta de Cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40% del volumen total del concreto. La figura " A " muestra que el volumen absoluto del Cemento esta comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 14 y el 21 %. El contenido de aire y concreto con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Como los agregados constituyen aproximadamente el 60 al 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

FIGURA 20: Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto.



Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados pequeños. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados grandes.

5.1.4.3. Propiedad del concreto endurecido

5.1.4.3.1. Curado húmedo

El aumento de resistencia continuará con la edad mientras este presente algo de cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene.

Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de restaurar.

5.1.4.3.2. Velocidad de secado del concreto

El concreto ni endurece ni se cura con el secado. El concreto (o de manera precisa, el cemento en el contenido) requiere de humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente está relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta. Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia; el hecho de que esté seco, no es indicación de que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas.

El concreto recién colado tiene agua abundante, pero a medida que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuará a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

En tanto que la superficie del concreto se seca rápidamente, al concreto en el interior le lleva mucho más tiempo secarse.

Note que luego de 114 días de secado natural el concreto aun se encuentra muy húmedo en su interior y que se requiere de 850 días para que la humedad relativa en el concreto descendiera al 50%.

El contenido de humedad en elementos delgados de concreto que han sido secados al aire con una humedad relativa de 50% a 90% durante varios meses es de 1% a 2% en peso del concreto, del contenido original de agua, de las condiciones de secado y del tamaño del elemento de concreto.

5.1.4.3.3. Resistencia

Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo $f' c$. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas en especímenes de mortero o de concreto, a menos de que se especifique de otra manera, los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm. en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15cm de diámetro y 30cm de altura.

El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm^2 . Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kg/cm^2 . Una

resistencia de $1,400 \text{ kg/cm}^2$ se ha llegado a utilizar en aplicaciones de construcción.

La resistencia a la flexión, también llamada modulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

La resistencia a la torsión para el concreto esta relacionada con el modulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto.

La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existe entre la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión, y cortante, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.

El modulo de elasticidad, denotado por medio del símbolo E, se puede definir como la relación del esfuerzo normal la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concreto de peso normal, E fluctúa entre $140,600$ y $422,000 \text{ kg/cm}^2$, y se puede aproximar como 15,100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua – Cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la

hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero.

Para una trabajabilidad y una cantidad de cemento dado, el concreto con aire incluido necesita menos agua de mezclado que el concreto sin aire incluido. La menor relación Agua – Cemento que es posible lograr en un concreto con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del concreto con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedios.

5.1.4.3.4. Peso unitario

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 kg por metro cúbico (kg/m^3). El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 kg/m^3 .

Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de 240 kg/m^3 , a concretos pesados con pesos unitarios de 6400 kg/m^3 , que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

5.1.4.3.5. Resistencia a congelación y deshielo

El concreto utilizado en estructuras y pavimentos, se espera que tenga una vida larga y un mantenimiento bajo. Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo mas destructivo es la congelación y el deshielo mientras el concreto se encuentra húmedo, particularmente cuando se encuentra con la presencia de agentes químicos descongelantes. El deterioro provocado por el congelamiento del agua en la pasta, en las partículas del agregado o en ambos.

(1): El concreto con aire incluido es mucho mas resistente a los ciclos de congelación y deshielo que el concreto sin aire incluido, (2): el concreto con una relación Agua – Cemento baja es mas durable que el concreto con una relación Agua – Cemento alta, (3) un periodo de secado antes de la exposición a la congelación y el deshielo beneficia sustancialmente la resistencia a la congelación y deshielo beneficia sustancialmente la resistencia a la congelación y el deshielo del concreto con aire incluido , pero no beneficia de manera significativa al concreto sin aire incluido. El concreto con aire incluido con una relación Agua – Cemento baja y con un contenido de aire de 4% a 8% soportara un gran número de ciclos de congelación y deshielo sin presentar fallas.

La durabilidad a la congelación y deshielo se puede determinar por el procedimiento de ensayo de laboratorio ASTM C 666, " Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing". A partir de la prueba se calcula un factor de durabilidad que refleja el número de ciclos de congelación y deshielo requeridos para producir

una cierta cantidad de deterioro. La resistencia al descascaramiento provocado por compuestos descongelantes se puede determinar por medio del procedimiento ASTM 672 "Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surface Exposed to Deicing Chemicals".

5.1.4.3.6. Permeabilidad y hermeticidad

El concreto empleado en estructuras que retengan agua o que estén expuestas a mal tiempo o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético. La hermeticidad se define a menudo como la capacidad del concreto de refrenar o retener el agua sin escapes visibles.

La permeabilidad total del concreto al agua es una función de la permeabilidad de la pasta, de la permeabilidad y granulometría del agregado, y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. La disminución de permeabilidad mejora la resistencia del concreto a la resaturación, al ataque de sulfatos y otros productos químicos y a la penetración del ion cloruro.

La permeabilidad también afecta la capacidad de destrucción por congelamiento en condiciones de saturación. Aquí la permeabilidad de la pasta es de particular importancia porque la pasta recubre a todos los constituyentes del concreto. La permeabilidad de la pasta depende de la relación Agua – Cemento y del agregado de hidratación del cemento o duración del curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere de una relación Agua – Cemento baja y un periodo de curado húmedo adecuado. Inclusión de aire ayuda a

la hermeticidad aunque tiene un efecto mínimo sobre la permeabilidad.

La permeabilidad de una pasta endurecida madura mantuvo continuamente rangos de humedad de 0.1×10^{-12} cm por seg. para relaciones Agua – Cemento que variaban de 0.3 a 0.7. La permeabilidad de rocas comúnmente utilizadas como agregado para concreto varia desde aproximadamente 1.7×10^{-9} hasta 3.5×10^{-13} cm por seg. La permeabilidad de un concreto maduro de buena calidad es de aproximadamente 1×10^{-10} cm por seg.

Los resultados de ensayos obtenidos al sujetar los discos de mortero sin aire incluido de 2.5cm de espesor a una presión de agua de 1.4 kg/cm^2 . En estos ensayos, no existieron fugas de agua a través del disco de mortero que tenía relación Agua – Cemento en peso iguales a 0.50 o menores y que hubieran tenido un curado húmedo de siete días. Cuando ocurrieron fugas, estas fueron mayores en los discos de mortero hechos con altas relaciones Agua – Cemento. También, para cada relación Agua – Cemento, las fugas fueron menores a medida que se aumentaba el periodo de curado húmedo. En los discos con una relación agua cemento de 0.80 el mortero permitía fugas a pesar de haber sido curado durante un mes. Estos resultados ilustran claramente que una relación Agua - cemento baja y un periodo de curado reducen permeabilidad de manera significativa.

Las relaciones Agua – Cemento bajas también reducen la segregación y el sangrado, contribuyendo adicionalmente a la hermeticidad. Para ser hermético, el concreto también debe estar libre de agrietamientos y de celdillas.

Ocasionalmente el concreto poroso – concreto sin finos que permite fácilmente el flujo de agua a través de si mismo – se diseña para aplicaciones especiales. En estos concretos, el agregado fino se reduce grandemente o incluso se remueve totalmente produciendo un gran volumen de huecos de aire. El concreto poroso ha sido utilizado en canchas de tenis, pavimentos, lotes para estacionamientos, invernaderos, estructuras de drenaje. El concreto excluido de finos también se ha empleado en edificios.

5.1.4.3.7. Resistencia al desgaste

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste esta estrechamente relacionada con la resistencia a compresión del concreto.

Se pueden conducir ensayos de resistencia a la abrasión rotando balines de acero, ruedas de afilar o discos a presión sobre la superficie (ASTM 779). Se dispone también de otros tipos de ensayos de resistencia a la abrasión (ASTM C418 y C944).

5.1.4.3.8. Estabilidad volumétrica

El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad en los esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%. En el concreto endurecido los cambios de volumen por temperatura son casi para el acero.

5.1.4.3.9. Control de agrietamiento

Las dos causas básicas por las que se producen grietas en el concreto son (1) esfuerzos debidos a cargas aplicadas y (2) esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción

La contracción por secado es una propiedad inherente e inevitable del concreto, por lo que se utiliza acero de refuerzo colocado en una posición adecuada para reducir los anchos de grieta, o bien juntas que predetermine y controlen la ubicación de las grietas. Los esfuerzos provocados por las fluctuaciones de temperatura pueden causar agrietamientos, especialmente en edades tempranas.

Las juntas son el método más efectivo para controlar agrietamientos. Si una extensión considerable de concreto (una pared, losa o pavimento) no contiene juntas convenientemente espaciadas que alivien la contracción por secado y por temperatura, el concreto se agrietara de manera aleatoria.

Las juntas de control se ranuran, se forman o se aferran en banquetas, calzadas, pavimentos, pisos y muros de modo que las grietas ocurran en esas juntas y no aleatoriamente. Las juntas de control permiten movimientos en el plano de una losa o de un muro. Se desarrollan aproximadamente a un cuarto del espesor del concreto.

5.1.4.4. Tipos

5.1.4.4.1. Concreto en masa

Es el formado por grava, gravilla, arena, aglomerante y agua. Una vez dosificado, mezclado y amasado, se vierte en moldes (encofrado del hormigón) o directamente sobre pozos, zanjas o zunchos. Por consiguiente el hormigón en masa se utiliza en cimentaciones, en muros y forjados.

5.1.4.4.2. Concreto ciclópeo

También es un hormigón en masa. Recibe el nombre de ciclópeo, porque se introducen en la masa bloques de piedras, procedentes de rocas de buena calidad y exentas de arcillas u otros materiales. Se aconseja que estas piedras sean lavadas antes de ser puestas en obra.

5.1.4.4.3. Concreto ligero

En realidad, es un hormigón en masa, para cuya confección se emplean en áridos de poca densidad o productos químicos, que producen en su masa un conjunto de huecos; en ambos casos se tiene un hormigón de densidad muy baja.

5.1.4.4.4. Concreto celular

Se prepara este hormigón añadiendo a la masa del mismo, un agente químico que desprende una gran cantidad de gases, quedando estos apisonados en el interior del hormigón formando burbujas que favorecen el aislamiento térmico y acústico. Se suele emplear en cubiertas en forma de laminas, para protecciones térmicas.

5.1.4.4.5. Concreto de piedra pómez

El árido empleado en este hormigón procede de lavas porosas trituradas o machacadas. Estos áridos de piedra pómez son muy ligeros y porosos lo cual facilita el aislamiento térmico y acústico del hormigón fabricados con estos áridos. Al igual que el anterior también se emplean en cubiertas para protecciones térmicas.

5.1.4.4.6. Concreto armado

Es sin lugar a dudas el tipo de hormigón más usado en la actualidad. Para obtenerlos se añaden a la masa o mezcla barras de acero corrugadas (aristas en formas de hélices), con diversos diámetros. Estas estructuras metálicas se preparan antes de hacer los encofrados, con el oportuno estudio de las resistencias mecánicas. El hormigón armado se emplea en todas las estructuras realizadas con hormigón tales como cimentaciones, tanto como de zapatas como de zanjas, arriostramiento o zunchos, pilares, vigas y viguetas, etc.

5.1.4.4.7. Concreto pretensado

Es una variedad de hormigón armado, con características de resistencia superiores a este, en elementos de iguales características geométricas. Tiene dos tipos de armaduras (así se llama el acero que entra en la composición del hormigón armado): una, pasiva; y otra, activa o pretensa, así llamada por ser sometida a tensión antes de ser hormigonado el elemento, al que comunica unas tensiones internas que sirven para aumentar el esfuerzo al que será sometido.

5.1.4.4.8. Concreto postensado

Una de las principales diferencias de esta clase de hormigón es que la armadura pretensa se somete a tensión, después de hormigonar el elemento y cuando haya el hormigón alcanzado la resistencia suficiente, para soportar los esfuerzos originados por el tensado de la armadura. Con este tipo de hormigón también se pueden conseguir obras de arquitectura e ingeniería, imposible de realizar con el hormigón armado o pretensado.

5.1.4.4.9. Concreto apisonado

Son los que se someten a presión una vez vertidos en los moldes o encofrados y antes de su endurecimiento, con ello se logra una mayor compactación en la masa del hormigón, ya que se eliminan en parte las burbujas de aire.

5.1.4.4.10. Concreto vibrado

Recibe este nombre el hormigón que, al ser colocado en obra, logra una compactación por medio de vibradores. Estos pueden ser de agujas o de superficie; su función principal consiste en lograr áreas de vibración dentro de la masa del hormigón, hasta alcanzar una perfecta acomodación de los distintos materiales, que forman parte de la dosificación del hormigón.

5.1.4.4.11. Concreto centrifugado

La compactación del hormigón, que interviene en la fabricación del elemento, es lograda gracias a la fuerza centrífuga originada al someter el molde, llena de masa de hormigón, a un determinado número de revoluciones.

5.1.4.5. Diseño de mezclas, control de calidad

5.1.4.5.1. Descripción del método de proporcionamiento de mezclas de concreto del “Centro de Investigaciones de Ingeniería”

La resistencia y durabilidad (calidad) del concreto está principalmente relacionada con la relación agua-cemento de la pasta y con la granulometría y tipo de partículas del agregado. Pero además del requisito de trabajabilidad de un concreto, afecta la relación agua-cemento y la proporción relativa de agregados grueso y fino a usarse.

Una vez determinada la resistencia y trabajabilidad requeridas los datos de relación agua-cemento (grado de concentración) y la cantidad aproximada de agua para alcanzar la trabajabilidad requerida, se toman de la tabla XXXX¹, dependiendo del tipo y tamaño del agregado.

Luego se calcula el cemento, los agregados (el % de arena se toma de la tabla de acuerdo con su módulo de finura y tamaño máximo del agregado). Se calculan entonces por volumen absoluto o volumen de sólidos las cantidades de material necesarios. Se pasan estos

¹ ANEXO Tabla No. XXXX “Datos para el diseño de mezclas”

volúmenes a pesos (para lo cual debe conocerse el peso específico de los materiales) y ya se tiene diseñada la mezcla.

El paso siguiente es hacer masadas de prueba para ver si la mezcla tiene la docilidad (o trabajabilidad) y resistencia apropiadas, realizando después de acuerdo con los resultados obtenidos, la correcciones que resulten necesarias.

5.1.4.5.2. Exposición detallada del método de proporcionamiento, manufactura del concreto, dosificación

Se debe hacer en obras importantes por paso: se recomienda almacenar material en diferentes silos ó depósitos y transportarlos por banda transportadora a la unidad de mezclado.

En obras pequeñas se proporciona por volúmenes sueltos. La arena mojada o seca tienen menores cambios de volumen que la arena con cierta humedad superficial (4 — 6 % de humedad superficial produce máximo esponjamiento que puede ser de 25% en arena gruesa a 40% de arena fina).

Las unidades de dosificación en plantas grandes pueden ser automáticas, e incluyen equipo de dosificación y medida del agua.

Mezclado

La mezcla debe ser mezclada hasta que se produzca uniformidad de consistencia, cemento, contenido de agua y graduación de agregado del principio al fin de cada masada descargada.

La mezcladora debe ser bien diseñada, estar limpia, operar a velocidad óptima, alimentada eficientemente sin sobrecargarla y operada en un tiempo razonable (1.5 a 3 minutos).

Trabajabilidad o Ductilidad deseada:

1º. Se mide usualmente por asentamiento en el cono de Abrahms.

Requisitos especiales (durabilidad, impermeabilidad, resistencia al desgaste).

Si el concreto estuviera sujeto a la acción de clima severo, aguas agresivas o debe ser impermeable, esto obliga a reducción del grado de concentración de pasta (relación agua-cemento), al uso de agregados especiales, u otras alternativas, por lo que en estos casos debe consultarse al laboratorio.

2º. Obtener los datos de los materiales a usar.

a. Cemento: Tipo y calidad, peso específico y peso unitario volumétrico.

b. Agregados: Peso específico, peso unitario volumétrico, % de absorción, módulo de finura (granulometría) y otras características: tamaño máximo, textura, composición mineralógica.

Se elabora un cuadro con estos datos.

3º. Con base en los datos del 1º. Y 2º. Se obtiene:

a. El grado de concentración de pasta (relación agua-cemento) para la resistencia media requerida a 28 días.

En cada caso, se establece la concentración de pasta por ensayos realizados, pero para la dosificación inicial puede usarse los datos

tabla XXXIX ².

b. La consistencia y cantidad de agua:

De tabla XXXIX ² se toma la cantidad de agua correspondiente a la concentración de pasta (relación agua-cemento) y según el tamaño máximo de agregado a usar, se corrige de acuerdo con la trabajabilidad deseada y la clase de agregado que se usará (grava o piedra).

c. La cantidad de cemento.

Conociendo la concentración de la pasta y la cantidad de agua necesaria para producir la consistencia que exige la trabajabilidad dada, se calcula la cantidad de cemento. Para esto se multiplica la relación cemento-agua por la cantidad de agua necesaria. Puede lograrse también dividiendo la cantidad de agua necesaria entre la relación agua-cemento.

d. La proporción de la mezcla de agregados. Determinación de % arena.

Con base en el módulo de finura y el tamaño máximo del agregado, se toma la tabla XXXIX ², el % de agregado fino en volumen absoluto o "sólido", sobre agregado total. Se supone que el agregado grueso está graduado correctamente. Si éste no es el caso, se procede a mezclar 2 o más tipos de agregados gruesos para que den la graduación especificada.

El concreto llevará atrapador de aire, si se requiere concreto menos trabajable, o se usa pierdan en vez de grava, se corregirá el % de arena de acuerdo con lo indicado en la misma tabla

² Anexo Tabla No.XXXIX "Asentamientos Usuales para Varios Tipos de Construcción"

XXXIX². Siempre deberá tratarse de usar la menor cantidad de arena posible sin menoscabo de la pastosidad y trabajabilidad de la mezcla. Si con los porcentajes de arena señalados en la tabla, se obtiene concreto muy pastoso, estos deberán dejarse, aumentándose el agregado grueso.

Obteniendo el porcentaje de arena en volumen absoluto se conocerá también el porcentaje de agregado grueso en volumen absoluto sobre agregado total.

e. El % de aire atrapado normalmente.

Se obtiene de tabla No. XXXX¹ de acuerdo con la concentración de pasta, el tamaño máximo del agregado y M.F. de la arena.

4⁰. Cálculo de proporciones de la mezcla por m³ es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

Para establecer la dosificación por m³ es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

El agua se evapora en parte, es parcialmente absorbida por los agregados y el resto forma la pasta agua-cemento, que retrae bastante antes de fraguar. La concentración del concreto fresco es del orden del 2 al 2.5%. Por tanto, la suma de volúmenes absolutos o de "sólidos" reales de los materiales deberá ser 1.020 m³ con el fin de obtener el m³ de concreto endurecido.

De modo pues que los materiales se proporcionarán sobre 1.00 m³ y después ya para hacer la mezcla, ésta deberá calcularse para 1.02 m³ de concreto fresco.

Procedimiento

Cálculo de volúmenes absolutos de agua y cemento, se obtiene dividiendo sus pesos en kg. por su peso específico multiplicado por 1000.

Restar de 1.000 m^3 los volúmenes de agua, cemento y aire atrapado.

Repartir el volumen restante entre arena y agregado grueso de acuerdo con el porcentaje de arena fijado.

Calcular los pesos por m^3 de los agregados, multiplicando su volumen por el peso específico $\times 1000$.

Sumar los pesos y los volúmenes. El peso unitario aproximado del concreto será igual a la suma de pesos.

Referir los pesos al del cemento y calcular el número de sacos de cemento por m^3 (partiendo del peso del cemento) y expresar el agua en litros por saco de cemento. En esta forma se completa la fase de dosificación inicial de la mezcla.

5°. Masadas de prueba:

A partir de la dosificación por metro cúbico y tomando en cuenta la humedad de los agregados en el momento de realizar la masada de prueba, se calculan las cantidades dadas de material para realizar esta masada, las cuales dependen de las facilidades y clase de concretera. Es recomendable hacer una masada de 20 kg. de cemento como base. Si es posible de un saco (42.63 kg.) mejor.

Si se usa concretera, ésta deberá limpiarse antes del amasado y siempre es conveniente amasar un poco de concreto de la misma dosificación que se usará, que luego se tira y que tiene por objeto impregnar las paredes de la máquina y evitar así que parte del

mortero de la masada de prueba se quede adherida en la concretera.

Con la masada de prueba se ve si la mezcla tiene las características deseadas y las cantidades previstas de material. Generalmente hay que hacer ajustes a las proporciones. La variación de agua para lograr la consistencia deseada no sobrepasa los 15 — 20 litros por m^3 , a menos que el agregado sea muy poroso o tenga mucha arcilla. La arena y agregado casi no hay que variarlos a menos que se note una mezcla muy pastosa, con lo que deberá disminuirse la arena. Cuando hay necesidad de aumentar el agua, debe aumentarse también el cemento, para conservar la concentración de pasta prevista, a menos que los resultados de ensayos de resistencia indiquen que no hay necesidad.

Si el agua exigida para la consistencia es menor de la calculada no se recomienda hacer cambios en el cemento hasta no conocer los resultados de la prueba de resistencia.

Para no perder tiempo y una vez corregida la consistencia y plasticidad de acuerdo con la trabajabilidad deseada, se recomienda hacer 3 series de probetas. Una con la concentración de pasta calculada y las otras dos, una con concentración mayor (10 Kg. de cemento más por m^3) y otra con concentración menor (10 Kg. de cemento menos por m^3). Por Interpolación podrá hallarse la cantidad definida de cemento que hace falta para alcanzar la resistencia media requerida.

Para estas masadas de prueba debe comprobarse la proporción real de materiales y el rendimiento de la mezcla de concreto.

6^o. Comprobación de las resistencias obtenidas en obra:

Por último es necesario realizar la comprobación de que la resistencia característica sea mayor que la mínima exigida.

Es necesario hacer 6 masadas (puede ser en días diferentes) de las cuales se toman 6 probetas por cada una. Estas probetas se curan al ambiente normal y se romperán en el laboratorio a 28 días. En el laboratorio se calcularán su resistencia media y su resistencia característica.

En esta forma se sabrá si en las condiciones de la obra y con los procedimientos que vayan a utilizar, se obtiene repentinamente, una resistencia mayor, menor o igual a la requerida y poder hacer los ajustes del caso.

5.1.4.5.3. Pruebas empíricas para medir la consistencia del concreto

Las mezclas deben tener la consistencia que se requiere según los medios que se tengan para transportar y colocar el concreto en la obra.

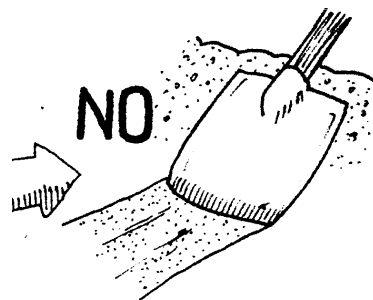
Para concretos que se transportan en cubetas y carretillas que se apisonarán con varillas, se requiere una consistencia relativamente suave y plástica. La fluidez se consigue con el agua, pero la pastosidad la da la cantidad de finos (cemento y arena en la mezcla).

Puede lograrse mezclas relativamente secas (con poco agua) que sean plásticas y manejables; también pueden obtenerse mezclas muy fluidas (liquidadas) que sean como un caldo de piedra, muy difícil de trabajar y de compactar y de baja resistencia.

Por lo tanto debe observarse si la proporción de arena sobre agregado total es adecuado para dar una mezcla balanceada. Para determinar si la mezcla es adecuada y la cantidad de agua suficiente, puede hacerse las siguientes pruebas:

Alisar con el revés de una pala, una parte de la mezcla recién descargada de la mezcladora, o recién mezclada a mano y observar:

1. Si queda expuesta mucha grava o pedrín, faltan finos y posiblemente agua. Habrá que subir la proporción de arena y repetir la prueba.



2. Si queda una masa pastosa y muy pegajosa donde no se dibuja o distingue la grava o pedrín, la mezcla es muy arenosa. Valdrá la pena bajarle un poco la arena a la mezcla.



3. Si resulta una superficie lisa y poco pegajosa en la que se delinee la grava o el pedrín (pero sin quedar suelto) significa que la cantidad de finos y la de agua es la adecuada.



Otro método es hacer una bola con un poco de mezcla. Si no se puede hacer es porque falta arena o agua. Si al hacer la bola se escurre entre los dedos es que le sobra agua.

Al dejarla caer desde una altura de un metro, esta se debe deformar pero no se debe desbaratar. Si esto ocurre la mezcla no es adecuada, le falta agua.

5.1.4.5.4. Prueba técnica para medir la consistencia del concreto "Cono de asentamiento o Slump"

Es una prueba sencilla, fácil de hacer y relativamente bajo costo. Si se realiza siguiendo el procedimiento que se señala a continuación, constituye un medio adecuado para controlar la uniformidad de las mezclas.

Para diferentes estructuras y condiciones de colocación del concreto hay diferentes asentamientos apropiados:

Para losas y pavimentos compactados manualmente con varilla el asentamiento debe ser del orden de 50 -100 mm. (2" — 4")

Para secciones muy reforzadas y donde la colocación del concreto sea difícil, un asentamiento de 100 — 150 mm. (4" — 6") es el adecuado.

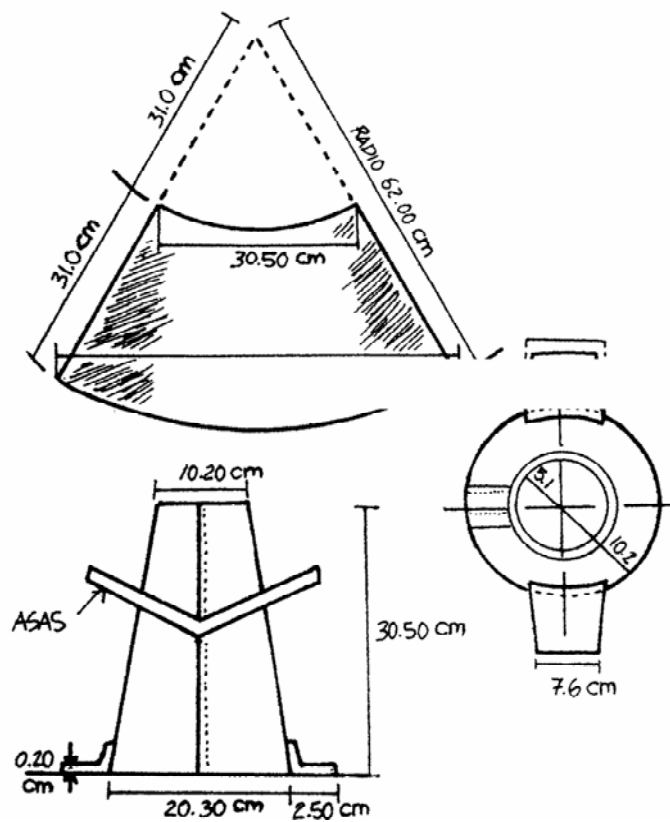
Para la mayoría de mezclas de concreto en obras medianas y pequeñas una consistencia plástica corresponde a un asentamiento entre 50 — 100 mm. (2" — 4")

Para el ensayo de asentamiento se requiere el siguiente equipo:

Un molde tronco cónico de 203 mm \pm 3 mm de diámetro en la base mayor, 102 mm \pm 3 mm. en la base menor y 305 mm. \pm 3 mm. de alto.

Una varilla compactadora o apisonadora de acero, cilíndrica y lisa de 16 mm. de diámetro, una longitud aproximada de 600 mm. y la punta redondeada.

FIGURA 21: Cono de asentamiento o Slump



El molde puede ser elaborado de lámina de acero inoxidable o lámina galvanizada calibre 16. Es preferible soldarlo cuidando que quede liso por dentro sin reborde de soldadura.

La muestra de concreto debe tomarse en una misma tanda o masada de la porción central del volumen de la descarga de la mezcladora y con un recipiente que abarque todo el chorro de la descarga.

En caso de mezclas hechas a mano, la muestra se toma de la pila de concreto, al menos de 5 puntos distintos, después se remezclan y se pasan al ensayo de asentamiento inmediatamente.

Para efectuar el ensayo se humedece el interior del molde y la base sobre la cual se hará el ensayo, la que debe ser firme, plana, nivelada y no absorbente.

Se sujeta el molde firmemente y se llena $1/3$ del volumen del cono que corresponde a una altura de 64cms. sobre la base. Se puya 25 veces con la varilla compactadora evitando que la misma toque la base en que se apoya el cono.

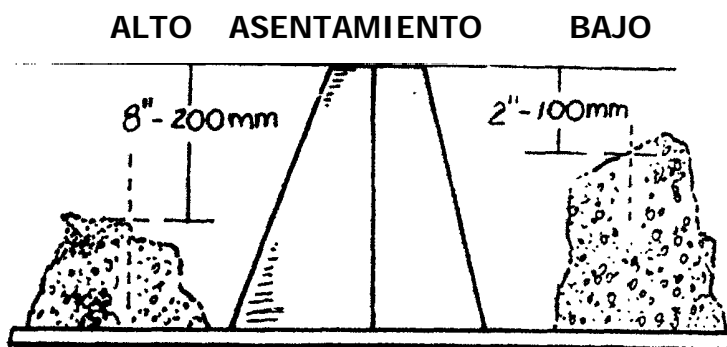
Se coloca una segunda capa de un tercio del volumen que corresponde a una altura de 15 cms. sobre la base y se puya 25 veces cuidando que la varilla penetre ligeramente la capa anterior.

Se llena el molde colocando un poco mas del concreto necesario y se golpea 25 veces penetrando ligeramente la capa anterior. Se aparta el concreto que haya caído ligeramente alrededor del molde.

Se levanta el molde verticalmente en 5 a 10 segundos, sin impactarle el movimiento lateral o de torción.

Se coloca el molde al lado del concreto ensayado y se mide la distancia entre la varilla colocada sobre el molde y la cara superior del concreto, a esta distancia en cm., mm o pulgadas se le llama asentamiento.

FIGURA 22: Cono de asentamiento o Slump 2



Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o resquebrajamiento del concreto, hacia un lado, el ensayo debe repetirse desechando el concreto del ensayo anterior.

5.2. Resistentes

5.2.1. Madera^{28, 16, 9}

La madera es el conjunto de tejidos orgánicos que forman la masa de los troncos de los árboles, desprovistos de corteza y hojas.

Asimismo se define como aquel material encontrado como principal contenido del tronco de una planta, especialmente en árboles. Los árboles se caracterizan por troncos que crecen cada año y son compuestos de fibras de celulosa unidos con lignina. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas.

Y por último es un material escultórico tradicional debido a su abundancia natural en todo el mundo y su carácter renovable, aunque su duración en el tiempo no es tan permanente como la piedra.

5.2.1.1. Clasificación y estructura

5.2.1.1.1. Clasificación según la calidad de la madera

- Madera sana sin fallos,
- Madera de calidad normal con uno o algunos fallos,
- Madera industrialmente aprovechable,
- Madera industrialmente aprovechable en un 40%.

5.2.1.1.2. Clasificación según su crecimiento

5.2.1.1.2.1. Maderas blandas

Las maderas blandas proceden básicamente de coníferas (pino) o de árboles de crecimiento rápido. La gran ventaja que tienen respecto a las maderas duras, procedentes de especies de hoja caduca con un periodo de crecimiento mucho más largo, es su ligereza (no son escasas) y su precio, mucho menor.

Este tipo de madera no tiene una vida tan larga como las duras, pero puede ser empleada para trabajos específicos. Por ejemplo, la madera de cedro rojo tiene repelentes naturales contra plagas de insectos y hongos, de modo que es casi inmune a la putrefacción y a la descomposición, por lo que es muy utilizada en exteriores.

La manipulación de las maderas blandas es mucho más sencilla, aunque tiene la desventaja de producir mayor cantidad de astillas. Además, la carencia de veteado de esta madera le resta atractivo, por lo que casi siempre es necesario pintarla, barnizarla o teñirla.

5.2.1.1.2.2. Maderas duras

Las maderas duras son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento (ejemplo Caoba), por lo que son más densas y soportan mejor las inclemencias del tiempo (son más resistentes), si se encuentran a la intemperie, que las blandas.

Estas maderas proceden de árboles de hoja caduca, que tardan décadas, e incluso siglos, en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortadas y poder ser empleadas en la elaboración de muebles o vigas de los caseríos o viviendas unifamiliares.

Son mucho más caras que las blandas, debido a que su lento crecimiento provoca su escasez, pero son mucho más atractivas.

5.2.1.1.3. Estructura de la madera

- Médula: Parte central del tronco. Constituido por tejido flojo y poroso. De ella parten radios medulares hacia la periferia.
- Durámen: Madera de la parte interna, de mayores resistencias.
- Albura: Madera de la sección externa del tronco, de color más claro. Es la zona más viva, saturada de sabia y sustancias orgánicas. Se transforma con el tiempo en durámen.

- **Cámbium:** Constituye la base del crecimiento en espesor del árbol. Formado por células de paredes delgadas que se transforman por divisiones sucesivas en nuevas células formando en la parte interna del árbol el xilema y en la externa el liber o floema que es la parte interior de la corteza de poca resistencia.
- **Corteza:** Capa exterior que sirve para proteger los tejidos.

5.2.1.1.3.1. Composición química de la madera

- Carbono 50, %
- Hidrógeno 6 %,
- Oxígeno 43 %,
- Nitrógeno 1 %
- Cenizas 0,5 %

5.2.1.1.3.2. Componentes químicos

- **Componentes principales:** Celulosa (50 %): Es un hidrato de carbono parecido al almidón. Se pudre con la humedad. Lignina (25 %): Es un derivado del fenil-propano. Le da dureza y protección. Hemicelulosa (25 %): su misión es unir las fibras.
- **Otros componentes:** Resinas, Grasas, Sustancias incombustibles.

5.2.1.2. Características⁹

La madera es uno de los materiales tradicionalmente más utilizados en la construcción. Tiene grandes posibilidades por sus características tecnológicas, su variedad de calidades, su versatilidad y porque la madera conjuga su capacidad constructiva con un lenguaje estético

único. Sus excelentes propiedades reportan innumerables beneficios: ecológicos, socioeconómicos y tecnológicos.

5.2.1.2.1. Características generales

- La madera es un material ecológico y renovable.
- Su empleo contribuye al mantenimiento del ciclo de la vida. Con el sol y el dióxido de carbono, los árboles producen madera, carbohidratos y oxígeno. El dióxido de carbono es uno de los gases más peligrosos para el hombre. Los bosques por medio de la fotosíntesis fijan el CO₂ y reducen su cantidad en la atmósfera.
- Como material vivo es degradable: podemos producir madera, usarla, reutilizarla y reciclarla, contribuyendo con ello al ciclo de la vida.
- Su transformación no requiere grandes cantidades de energía con el subsiguiente ahorro económico y energético. Al usar madera también se ralentiza el agotamiento de las reservas primas no renovables.
- La madera es un material sano y agradable. En construcción se comporta como un elemento saludable, que mantiene las condiciones térmicas, modera las fluctuaciones de humedad, purifica el aire y proporciona relax a las personas.

5.2.1.2.2. Características ecológicas

El beneficio ecológico derivado del empleo de la madera en construcción se refleja de modo directo en el medioambiente y, consecuentemente, en un mejor entorno natural para las personas.

- Es un material renovable; es un material vivo con un desarrollo sostenible.

- Es un material reciclable, ecológico y biodegradable. Una vez acabada su vida útil, la madera puede ser destinada a otro uso.
- El consumo de energía en su fabricación es mínimo. La energía necesaria para colocar 1 tonelada de material en construcción o carpintería es, según Resch:

TABLA XI: Consumo de energía en la fabricación de la madera

MATERIAL	ENERGÍA NECESARIA
Madera	430 KWh
Mientras que para el:	
Acero	2.700 KWh
Aluminio	17.000 KWh

Fuente: MORALES, Ing. Jorge Mario, "Materiales de Construcción"

- El consumo de energía para el mantenimiento de la temperatura interior es muy reducido. El aislamiento térmico conseguido con madera es tres veces superior al de los materiales típicos para estas funciones, como la lana de vidrio o la espuma de poliestireno.
- Gran parte de la energía que se consume en su transformación se obtiene de la combustión de los propios subproductos de madera. En consecuencia, existen actualmente fábricas autosuficientes en suministro de energía y recicladoras de sus propios subproductos.
- Adsorbe dióxido de carbono, lo que frena el calentamiento global de la atmósfera y genera oxígeno. Por cada m³ de madera se fija aproximadamente 1 tonelada de CO₂ en la atmósfera.
- Ralentiza el agotamiento de las reservas de materias no renovables.
- El bosque bien ordenado contribuye al mantenimiento del ciclo de la vida.

5.2.1.2.3. Características Térmicas

Conductividad térmica

- La madera, es el material ecológico de construcción más aislante, sólo superada por el corcho. Su conductividad térmica es de 0,1 a 0,15 Kcal/mh°C. (En el acero es de 39 Kcal/mh°C).
- La baja conductividad térmica modera las fluctuaciones de temperatura en el interior de las construcciones de madera, favoreciendo un entorno agradable.
- Este factor supone un gran ahorro energético en calefacción o aire acondicionado a lo largo de la vida útil de la construcción, lo que reduce considerablemente el gasto doméstico.
- La reducción del gasto energético disminuye también las emisiones a la atmósfera, frenando el efecto invernadero.
- Frente a un incendio, esta propiedad disminuye la rapidez de propagación, de modo que las estructuras de madera mantienen durante mucho tiempo la función para la que fueron diseñadas, permitiendo la evacuación del edificio o la extinción del incendio.
- Las causas de los incendios se encuentran, generalmente en los elementos de carácter decorativo y no en los materiales estructurales (incluida la madera).
- La madera arde, pero puede evitarse mediante el uso de tratamientos de ignifugación o sobredimensionado de espesores.
- La madera sin ignifugar se clasifica como M3 (combustible y medianamente inflamable) o M4 (combustible y fácilmente inflamable), pero tratada puede pasar a las clases M2 (combustible y difícilmente inflamable) y M1 (combustible pero no inflamable).
- Con el fuego, la madera se carboniza en superficie formando una capa que impide el avance del fuego hacia el interior de la pieza.

Sobredimensionando los espesores de las piezas, el fuego no puede llegar al núcleo, con lo que ésta no pierde su función.

Dilatación y difusibilidad térmica

- La dilatación térmica de la madera es prácticamente nula sobre todo si se la compara con otros materiales como el acero.
- Esta propiedad permite que el tiempo en que la madera mantiene su funcionalidad en un incendio sea muy superior al de otros materiales metálicos.
- La difusibilidad es una propiedad que representa la velocidad con que un material se calienta en contacto con una fuente de calor. La difusibilidad térmica es muy baja $0,9 \text{ m}^2/\text{h}$ frente al acero que es $50 \text{ m}^2/\text{h}$.

5.2.1.2.4. Características higroscópicas

- La madera adsorbe o cede humedad al aire que la circunda en función de la humedad ambiental y la temperatura, tendiendo siempre al equilibrio (humedad de equilibrio higroscópico, HEH).
- Esta continua tendencia al equilibrio, asegura la regulación de humedad en el interior de las estructuras de madera.
- La hinchazón y merma de la madera debida a la absorción y cesión de agua, es un aspecto que se tiene en cuenta en el cálculo de la estructura, por lo que no supone ninguna desventaja constructiva frente a otros materiales.
- La contracción axial es casi despreciable, mientras que las contracciones transversales pueden ser importantes. No obstante, el valor de la contracción volumétrica varía mucho en función de la especie.

5.2.1.2.5. Características químicas

- La madera está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, formados, a su vez, por estructuras de carbono. Esta composición permite la fijación del perjudicial dióxido de carbono atmosférico, que a través de la fotosíntesis pasa a formar parte de la estructura de la madera.
- Por cada tonelada de madera se fijan 1,85 toneladas de CO₂.
- La producción de madera contribuye a frenar el cambio climático.
- Otra ventaja, derivada de su composición, es la de no producir gases tóxicos durante un incendio.

5.2.1.2.6. Características mecánicas

Resistencia

- La madera es muy resistente en dirección longitudinal. Más resistente que el hormigón en todos los sentidos y que el acero en sentido axial
- Su resistencia varía mucho en función de la especie y se ve influida por la humedad
- La resistencia a la flexión de la madera es muy elevada; por ello, este material es muy adecuado para ciertas piezas como vigas, viguetas de forjado, paredes de cubierta, etc.
- La madera es muy resistente a la fatiga, a la acción cíclica de cargas.
- Los productos derivados de la madera, como madera laminada, tableros, LVL, etc. son soluciones adecuadas para los distintos requerimientos constructivos.

Deformación

- La deformación de la madera sometida a una cierta carga, aumenta con el tiempo.
- La madera es un material deformable, por lo que el cálculo de su sección debe basarse, a diferencia de otros materiales, en su deformación y no en su resistencia a la rotura.
- La madera es un material muy fácil de clavar y presenta una gran resistencia al arranque de tornillos. Su escasa dureza facilita la penetración de los calvos, pero una vez introducidos se produce una deformación lateral que al recuperarse presiona el clavo dificultando su extracción.

5.2.1.2.7. Características acústicas

- Los productos derivados de la madera, dispuestos con un diseño adecuado, son buenos aislantes acústicos frente a ruidos externos.
- La reverberación se produce en ambientes cerrados, cuando los sonidos interiores no son absorbidos por los materiales y rebotan. La madera gracias a su porosidad, es un material idóneo para evitar este fenómeno acústico, produciendo una agradable sensación acústica para las personas.
- El aislamiento acústico de la madera frente a impactos es grande por tratarse de un material más elástico que otros comúnmente empleados en construcción.

5.2.1.2.8. Características eléctricas

La conductividad eléctrica de la madera es muy baja: este factor reduce la electricidad estática de las construcciones en madera.

5.2.1.2.9. Características tecnológicas

Un buen material de construcción debe tener buenas propiedades de resistencia, durabilidad, etc. La madera es ese material.

5.2.1.2.10. Características sociales

- La madera en construcción aporta enormes beneficios a las personas que utilizan estas construcciones.
- Economiza los materiales y tiempos de construcción. A igualdad de m² habitables, una casa de madera necesita menor superficie construida.
- Reduce los gastos de climatización interior, ya que regula las condiciones térmicas y modera las fluctuaciones de humedad.
- Reduce la electricidad estática.
- Produce sensaciones de integración en la naturaleza
- Crea entornos de habitación saludable.

5.2.1.2.11. Otras características

- Otras propiedades bien conocidas de la madera son su color, olor, tacto, sabor, brillo, etc. Estas propiedades permiten diseños arquitectónicos singulares y provocan sensaciones en las personas, que otros materiales constructivos no son capaces de lograr.

- Las singularidades de la madera, tales como nudos, lupias, verrugas, horquillado, fibra ondulada, etc., permiten efectos visuales y de diseño característicos que no aparecen en otros materiales.

5.2.1.2.12. Características de los diferentes tipos de madera

Entre las características más importantes según el tipo de madera que existe figuran:

- Abeto: Muy dura y fácil de trabajar.
- Álamo: Blanca, carente de belleza.
- Amaranto: Exótica, se usa en contrachapados.
- Arce: Muy usada, por sus distintos acabados.
- Boj: Dura, compacta. Es una madera preciosa que se usa en marquetería.
- Caoba: Su veteado y dureza es uniforme. Acepta talla y diferentes acabados.
- Cedro: Similar a la caoba, es más trabajable.
- Ciprés: Es muy blanda, con color rojo pálido, y vetas grises. Para revestimientos es perfecta, ya que es inalterable por el carcoma y el agua.
- Eucalipto: Se utiliza preferentemente para chapear, y es de color claro.
- Fresno: Aunque sea similar a la anterior, tiene mejor veteado.
- Haya.: Dura, clara y compacta, el veteado es regular.
- Nogal: De dureza media, es compacta y con veteado rico. Su uso es tanto en chapeado como en sólido.
- Olivo: su matiz es amarillo-verdoso, y presenta gran dureza.

- Pino: Hay diversas clases de esta madera. Una de las más utilizadas por su claridad y su precio relativamente asequible.
- Roble: Dura y muy compacta. Al igual que el nogal, puede chapearse o usarse sólida. Acepta multitud de acabados.
- Sicómoro: Se utiliza en chapeados y es clara.
- Teca: Muy sólida, sirve para revestimientos navales y orientales.
- Tilo: es clara y de porte económico.

5.2.1.3. Defectos de la madera

Debemos tener en cuenta los defectos que la madera puede tener. Es conveniente adquirir la madera seca, dado que muchos de estos defectos provienen de la fase de secado.

Motivos que causan los defectos en la madera:

- CANTOS: Los cantos irregulares pertenecen normalmente al extremo del tronco próximo a la madera en desarrollo, lo que le confiere menor calidad.
- CORAZÓN DESCENTRADO: Se da en árboles que han crecido en ladera o pendientes acusadas, o en lugares con viento muy fuerte.
- DESOLLADURAS: Si el desollado no es muy profundo es susceptible de arreglarse, aunque quede la cicatriz.
- GRIETAS EN LAS CABECERAS: Se suele dar cuando se ha secado la madera en un proceso rápido.
- HENDIDURAS DE COPA: El secado interior ha secado más rápido en el exterior. Para utilizarlo deberá prescindir de la parte que ha sido afectada.
- NUDOS: Vivos o muertos. Los nudos son los lugares del árbol en los que nacía una rama, que ha sido cortada. Su existencia puede llegar

a provocar grietas en la madera si ésta se ha secado de manera acelerada, e incluso puede hacer que llegue a romperse. Asimismo, una vez secos, pueden desprenderse de la pieza de madera, dejando agujeros en la pieza de madera. La presencia de nudos en la madera es dañino para ella, ya que a lo largo del tiempo pueden llegar a acumular resina, que puede estropear el acabado final de la pieza.

- RETORCIDOS: Los tablones retorcidos han alabeado en direcciones distintas. Rechácelos, son inservibles.

FIGURA 23: Fibras de la Madera



5.2.1.4. Usos de la madera

Entre los usos de la madera se pueden tener los siguientes:

- Estructuras
- Andamios
- Formaletas
- Recubrimientos
- Techos y artesanados

- Pisos
- Puertas y ventanas
- Muebles y accesorios varios
- Otros

5.2.1.5. Preservación

La madera puede ser protegida de hongos, insectos, trepanadores marinos etc. Por la aplicación de tóxicos o preservadores químicos. Algunos de estos impermeabilizan y hacen ignífuga a la madera además.

La madera puede estar sujeta a deterioro o pudrición por hongos que producen manchas y por hongos que atacan a la madera.

Además por insectos: Las termitas (comejen, hormiga blanca o polilla), los escarabajos, del género *Lyctus*, hormiga carpintera, la broca, etc.

Y por perforadores marinos : Géneros *Teredo*, *Bankia*, *Martedia* y crustáceos: Género *Limnoria*, *Sphaerona* y *Chelura*.

5.2.1.5.1. Preservantes de la madera

Los preservantes hacen no habitables la madera o evitan su uso como alimento por los hongos e insectos. Deben tener las cualidades siguientes:

- 1) Toxicidad para hongos e insectos
- 2) Precio cómodo
- 3) Fácil manejo
- 4) Poca toxicidad para humanos y animales
- 5) Ser penetrante

- 6) No oxidar clavos, bisagras, alambres, etc.
- 7) No evaporarse y disolverse una vez aplicado
- 8) No evitar que pueda pintarse la madera
- 9) No ser inflamable

Los preservantes son de tres clases:

Aceites preservantes pesados de baja volatilidad e insolubles en agua.

Sales inorgánicas materiales similares en solución acuosa.

Tóxicos químicos orgánicos e inorgánicos disueltos en solventes volátiles que no son agua (aceites livianos).

5.2.1.5.1.1. Aceites preservantes pesados

Ventajas

- a) Alta toxicidad
- b) Insolubilidad en agua
- c) Facilidad de aplicación
- d) Facilidad de detección de profundidad de aplicación simple vista.
- e) No oxida los metales
- f) Disponibilidad
- g) Bajo costo
- h) Largo récord de servicios satisfactorios
- i) Es inflamable.

Desventajas

- a) Manchan la madera no admitiendo la pintura y la hacen inadecuada a madera donde la apariencia es un requisito.
- b) Su contacto irrita la piel a muchas personas además puede pasarse a alimentos.

- c) Los vapores son nocivos a algunas plantas.
- d) Necesita que la madera esté seca para tratarla.
- e) Para ser efectiva necesita aplicación a presión, baños calientes-fríos ó maceración ó remojo 6 días por lo menos.

5.2.1.5.1.2. Sales inorgánicas

Ventajas:

- a) Tóxico para hogos e insectos
- b) Limpio - no altera el color a la madera
- c) Puede aplicarse por remojo en frío
- d) No es tóxico para personas y animales
- e) Precio cómodo
- f) No causa oxidación de metales
- g) Puede pintarse una vez seco
- h) No aumenta peligro de fuego, cuando está seco

Desventajas:

- a) Tiene que ser diluido en solventes inflamables
- b) El manejo y almacenamiento de los solventes es problemático
- c) La madera debe estar seca
- d) Decora el remojo en frío de 24 a 48 horas
- e) Es irritante a la piel

El proceso ideal es aplicarlo a presión. Puede usarse el remojo en frío y baños calientes-fríos. Las inmersiones cortas o "pintadas" no son adecuadas.

5.2.1.5.1.3. Tóxicos químicos

Ventajas:

- a) Tóxico a hongos e insectos
- b) Puede tratarse madera verde
- c) Aplicación fácil
- d) Equipo sencillo y económico
- e) Precio cómodo
- f) No necesita solventes inflamables
- g) La madera puede ser pintada después de tratada
- h) Su manejo es limpio
- i) La madera tratada es resistente al fuego.

Desventajas:

- a) Debe usarse guantes y anteojos para protección durante el tratamiento.
- b) Requiere agitación frecuente
- c) La madera debe estar verde o remojada en agua
- d) Debe cubrirse la madera tratada evitando que entre aire
- e) Debe controlarse la concentración de sales de la solución.

5.2.1.5.2. Métodos de tratamiento

Se clasifican en dos grupos: sin presión y con presión (más efectivos, pero más complejos y caros).

5.2.1.5.2.1. Métodos sin presión

A brocha o soplete se basa en penetración capilar.

La penetración es superficial.

Inmersión rápida en frío Varía de varios segundos a 15 minutos según madera y uso de la misma. Este tratamiento y el anterior solamente son aplicables a maderas que hayan de usarse en interiores de edificios y que estén protegidas del suelo de las lluvias y la intemperie. En climas húmedos y tropicales no dan suficiente protección.

Maceración o remojo en frío, mantener la madera sumergida en los preservantes, de dos a seis días según madera y tamaño piezas. Requiere equipo simple (toneles) y es efectivo y barato. Se usa con pentacloretofenol, creosota y naftenato de cobre. Es un tipo de tratamiento popular en Guatemala.

Baños calientes y fríos Inmersiones sucesivas de madera seca en preservantes calientes y fríos. –El calor produce expansión de los poros y facilita la evaporación del agua superficial. Baño frío subsiguiente causa la contracción de los poros en la capa superficial y provoca un vacío parcial. Por efecto de la presión atmosférica el preservante penetra en la madera.

Este proceso es el más efectivo de los métodos sin presión y puede utilizarse con creosota, pentaclorofenol y osmosalts.

Proceso Osmose

Un tipo especial de tratamiento sin presión es el proceso Osmose que se usa con madera verde o mojada. La madera se corta, se descortiza y se sumerge en un tanque que contiene el preservante Osmosalts controlando la densidad de la solución y

agitando periódicamente la misma (cada 3-4 minutos). Como preservante se usan las Osmosalts. Después de la inmersión se apercha la madera pegando unas contra otras las piezas y se cubren con una cubierta impermeable, que evite la entrada de aire. Así se deja la madera durante 1 mes y luego se seca al aire por 10 días ó mejor por 2 semanas más.

5.2.1.5.2.2. Métodos con presión

Celda Ilena Más recomendable produce máxima retención de preservante y es recomendable para maderas expuestas al deterioro o destrucción (durmientes, pilotos, etc.). Tipo de proceso: Bethel, Burnet.

Someter la madera a un vacío inicial en un cilindro hermético y después aplicar el preservante o presión hasta conseguir la protección adecuada.

Celda Vacía Se aplica primero presión y luego se introduce el preservativo. Se hace vacío hasta dejar solamente la cantidad de producto por pie de madera. Tipos de proceso: Lowry y Rueping.

5.2.1.5.2.3. Otros procesos de tratamiento

Proceso Boucherie Colocación de árboles cortados aún con ramas y cortezas en cubetas de solución de sulfato de cobre. Por evaporación del agua de las hojas y ramas, la solución preservante es absorbida por la madera. La penetración es poca y solo puede tratarse madera verde.

Proceso Cobra Inyecciones locales de preservante en la madera por medio de un martillo inyector que fuerza la solución dentro de la madera. La operación se repite alrededor del tronco o pieza a tratar hasta lograr una penetración general.

5.2.1.5.2.4. Factores que afectan la penetración

El criterio de aceptación de un tratamiento preservante es la cantidad absorbida y retenida por la madera y el grado de penetración alcanzado.

La impregnación depende de varios factores:

De la madera (forma, tamaño, estructura, condición)

Preparación previa (secado, descortezado, etc.)

Del preservante (calidad, cantidad, estabilidad y penetración)

Método de tratamiento (eficiencia y duración)

5.2.1.6. Esfuerzos básicos de trabajo¹⁶

5.2.1.6.1. Grados estructurales de la madera

La madera estructural se clasifica por grados a cada uno de los cuales se asignan esfuerzos permisibles de trabajo como % dados del esfuerzo básico, fijando para cada grado los límites de defectos aceptables. El Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala ha propuesto la clasificación en tres grados:

A – 85% de esf. básicos

B - 70% de esf. básicos

C – 50% de esf. básicos

La madera se clasifica por tamaños comerciales afines en cuanto a la forma usual de uso o trabajo a fin de que los esfuerzos permisibles sean fijados con base a la influencia del esfuerzo principal más probable de la pieza y en las medidas de la pieza.

Costaneras, Viguetas, tablones secciones de 5 cm. a 10 cm. de espesor y de 10 cm. o más de ancho para resistir principalmente flexión, pero usadas también en compresión y tensión.

Vigas, largueros secciones desde 10cm. A 20 cm. ó mayor para flexión principalmente.

Columnas, postes, paralelos, puntales piezas cuadradas o rectangulares de 10 en. X 10 cm. ó más de sección que generalmente trabajan a compresión.

Tablas listones piezas de 2.5 de espesor usadas en tijeras livianas y otros elementos donde los esfuerzos principales son de tensión o compresión (la tabla común de formateado, andamios, fabricación de cajas, etc. no se incluye en esta clasificación) .

5.2.1.6.1.1. Procedimiento para fijar el grado estructural

El procedimiento a seguir es: fijar grado A, B ó C, según % de esfuerzo básico a usar características generales de la madera.

Señalar tamaños de piezas a usar y tipo de esfuerzo principal en cada caso.

Fijar los defectos permisibles en base a tablas o gráficos.

Determinar correcciones por otros factores.

5.2.1.6.2. Observaciones generales sobre las propiedades mecánicas de la madera.

- Flexión y tensión //

En casi todas las maderas los valores de esfuerzos mayores son los de tensión // y flexión.

- Compresión //

Valores un poco menores que los de tensión // y flexión.

- Corte

Alrededor de 10% de la flexión y compresión.

- Tensión ⊥

De 6 – 10 % de la tensión //

- Compresión ⊥

La resistencia depende del área de carga, a mayor área menor resistencia relativa.

Para áreas de carga menores de 6" (15 cm.) de lado, se permite un incremento de esfuerzos.

5.2.1.6.3. Efectos de la dirección de la fibra en relación a la resistencia a compresión

La fórmula de Hankinson se utiliza para cuando se aplica carga a compresión a un ángulo en relación a la fibra.

$$N = \frac{p \times Q}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta}$$

N = Esfuerzo compresión permisible sobre superficie inclinada.

Q = Esfuerzo compresión \perp a fibra.

P = Esfuerzo compresión // a fibra.

θ = Entre dirección de la carga y la dirección de la fibra.

5.2.1.6.4. Propiedades torsionales

Se usan poco en Ingeniería Civil. Dependen el módulo de rigidez ó de corte longitudinal – radial. Longitudinal – tangencial y radial-tangencial. El modulo de rapidez o de corte promedio puede tomarse de 1/16 del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en flexión, para una torsión alrededor del eje paralelo a la fibra.

5.2.1.6.5. Modulo de elasticidad

En compresión // es de alrededor de 10% mayor que para flexión.

La relación E tangencial /E // fibra es de 0.10 aproximadamente.

La relación $E_{\text{radial}}/E_{\text{fibra}}$ es de 0.05 aproximadamente.

5.2.1.6.6. Tenacidad

Para carga en cara tangencial o radial los valores físicos de tenacidad para maderas resinosas en piezas cuadradas de 5/8" de lado y 10" de largo varían de 50 a 330 lb-pulgadas siendo un poco mayor para carga radial.

5.2.1.6.7. Fatiga

La madera es menos sensible a la fatiga por cargas repetidas que los materiales de estructura cristalina como los metales.

Los límites de fatiga en tensión paralela a la fibra son del orden de 40% de la resistencia a rotura de la madera seca al aire para 30×10^6 ciclos.

Para madera verde y en flexión el límite de fatiga es del orden de 60% del módulo de ruptura estática, para 30×10^6 ciclos. En madera seca al aire este valor baja a un 30%.

5.2.1.6.8. Ensayos a realizar (ASTM D-143)

- Flexión // fibra
- Flexión por impacto
- Tenacidad
- Compresión // fibra
- Compresión \perp fibra
- Tensión // fibra
- Tensión \perp fibra
- Clivaje o desgarramiento
- dureza - extremo radial y tangencial

corte // fibra
Extracción clavos y tornillos
Resistencia lateral clavos y Tornillos
Densidad o p.e. aparente (seco al horno,
seco al aire, verde y densidad básica).
Contracción o retracción volumétrica
radial, tangencial y longitudinal.

Los ensayos se hacen sobre piezas pequeñas (secciones 5x5 cm. o 2.5 x 2.5 cm.) cortadas paralelas al eje del árbol y de modo que en la sección de la pieza, las capas de crecimiento sean //s a una de las caras.

5.2.1.6.9. Análisis de los resultados de los exámenes

Se obtiene promedio aritmético, desviación estándar y coeficiente de variación.

Promedio:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \rightarrow x \frac{1}{n}$$

Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Coeficiente de variación

$$Cv = \frac{S}{x}$$

Esfuerzo básico de los resultados de los ensayos, se calcula el esfuerzo básico, corrigiendo el valor promedio por:

1. Variabilidad (1-Cv)

2. Efecto relajación producido por cargas permanentes (largo período de tiempo (2/3).
3. Factor de seguridad (sobre cargas accidentales) (1/2)
4. Grado de sasonamiento (secado) (en caso de reducirse valores de madera verde o de dif. cant. de humedad a madera seca al aire (12-15%).

$$\text{Básico} = ((1-Cv)^{2/3}) / (1/2)$$

Los esfuerzos básicos representan madera 100% buena y en estado idealizado.

Esfuerzos permisibles de trabajo

Los esfuerzos básicos deben corregirse para obtener esfuerzos de trabajo, tomando en cuenta 1) defectos de la madera, 2) tipo y duración carga, 3) sasonamiento y riesgo pudrición, 4) influencia, crecimiento y peso de la madera.

5.2.2. Bambú^{25, 28, 30, 36}

5.2.2.1. Características

Algunas características esenciales que podemos enumerar son:

TABLA XII: Características del Bambú

Propiedades especiales	Ligeros, flexibles; gran variedad de construcciones
Aspectos económicos	Bajo costo
Estabilidad	Baja a mediana
Capacitación requerida	Mano de obra tradicional para construcciones de bambú
Equipamiento requerido	Herramientas para cortar y partir bambú
Resistencia sísmica	Buena
Resistencia a huracanes	Baja

Resistencia a la lluvia	Baja
Resistencia a los insectos	Baja
Idoneidad climática	Climas cálidos y húmedos
Grado de experiencia	Tradicional

5.2.2.1.1. Propiedades físicas

5.2.2.1.1.1. Contenido de humedad

Los grupos vivos de bambú, como los árboles, contiene una cantidad considerable de humedad debido a la presencia de la savia. En ella se conducen los alimentos de la planta obtenidos del suelo por medio de los rizomas y es indispensable en el crecimiento y vida del bambú. En el contenido de humedad en los bambúes inmaduros es casi igual en diversas partes del tallo, y en cambio, en los tallos maduros, el contenido de humedad decrece con la altura del tallo. Los tallos inmaduros contienen mayor humedad y exigen más tiempo para el secado, sin embargo, su secado es más rápido que los tallos maduros. Esto se atribuye a que la estructura de las paredes es diferente.

5.2.2.1.1.2. Contracción

Conforme se van secando los tallos de bambú, estos empiezan a perder agua en sus paredes trayendo consigo contracciones volumétricas. Cuando la humedad del bambú se equilibra con la del ambiente, la retracción cesa ya que el efecto de dicha retractación es proporcional al contenido de humedad del tallo y del estado higrométrico del ambiente, existe una diversidad de factores que afectan el secado tales como: (a) la especie; (b) las condiciones de secado; (c) la posición de la muestra respecto al

tallo; (d) el espesor de la pared del tallo; y (e) el Grado de madurez del mismo.

Los cambios volumétricos son mayores en los bambúes jóvenes que en los de mayor edad. Durante el secado, los tallos inmaduros de paredes delgadas se deforman invariablemente y sus paredes tratan de aplastarse.

5.2.2.1.1.3. Peso específico

El peso específico difiere para cada especie y su valor también varía entre los tallos de una especie, en los diversos tramos de un tallo, así como en las partes internas y externas del mismo. Tanto el peso como el volumen varían con la cantidad de humedad en la planta y por ende, con el grado de madurez.

5.2.2.1.2. Propiedades mecánicas

5.2.2.1.2.1. Tensión paralela a la fibra

La mejor propiedad mecánica que posee el bambú es su alta resistencia a la tensión paralela a la fibra. Debido a que la resistencia a la tensión supera la resistencia a la compresión y mucho mas al esfuerzo cortante, resulta por consiguiente bastante difícil efectuar ensayos satisfactorios a la tensión paralela a la fibra.

5.2.2.1.2.2. Compresión paralela a fibra

La resistencia a la compresión del bambú es relativamente alta, pero carece de significado si no se especifica el grado de razonamiento y la relación entre la longitud y el diámetro de la pieza. Es importante definir el grado de razonamiento puesto que, como en la madera, la humedad disminuye la rigidez de las células fibrosas, trayendo consigo una disminución en las propiedades mecánicas, sobre todo en compresión a flexión. Asimismo, se tiene que considerar la relación entre la longitud y el diámetro. Si la longitud de un tallo es suficientemente grande con respecto a la mínima sección transversal, la resistencia bajo carga compresiva disminuye considerablemente por efecto de acción de columna o flameo.

Una falla por flameo lateral o flexión se produce antes que se desarrolle por complemento la resistencia a compresión.

5.2.2.1.2.3. Corte paralelo a la fibra

El empleo del bambú en la construcción involucra la presencia de esfuerzo cortante en mayor o menor grado y las fuerzas que los producen pueden actuar a lo largo de la fibra, a través de la fibra y en forma inclinada o en diagonal a la misma.

Muchos de los detalles de unión de elementos de bambú están sujetos a corte paralelo a la fibra.

Para corte perpendicular a la fibra no ocurre falla directa en el plano de la sección transversal, en vista de que las otras

propiedades hacen que la falla ocurra en algunas u otra forma, causada por aplastamiento a través de la fibra.

El efecto del corte oblicuo o en diagonal se puede observar en los planos inclinados de falla en columnas cortas ensayadas a compresión.

5.2.2.1.2.4. Tensión perpendicular a la fibra

La tensión perpendicular a la fibra es la disgregación de las fibras por fuerzas que actúan perpendiculares a la misma. Se relaciona estrechamente al clivaje por la acción separar el bambú a lo largo de la fibra. También esta vinculada al fenómeno del agrietamiento superficial que durante el secado todas las especies de bambú son mas o menos propensas.

5.2.2.1.2.5. Clivaje

La resistencia al clivaje se utiliza para denotar la resistencia que ofrece el bambú el desgarramiento. Se expresa como la fuerza necesaria para provocar la falla por unidad de longitud (kg/cm). En esta prueba las fuerzas actúan en forma de cuña para hender el bambú a lo largo de la fibra. Una baja resistencia al clivaje favorece longitudinalmente las cañas de bambú, mientras que una alta resistencia es requerida para uniones con pernos, clavos, clivaje y otros tipos.

5.2.2.2. Defectos del bambú

5.2.2.2.1. Dimensiones variables

Es difícil obtener cañas bien ajustadas a un estándar de dimensiones. Por esta causa, el proceso o fabricación en bambú no puede ser mecanizado fácilmente, y generalmente su utilización queda dentro del campo del artesanado.

5.2.2.2.2. Superficies disperejas

El empleo de ciertos bambúes se hace difícil por la combadura de las cañas, la prominencia de los nudos, la desigualdad de medidas y formas, y la proporción de variación longitudinal del ancho. La desigualdad y la conicidad, más marcas hacia el extremo superior de la caña, pueden hacer difícil obtener una construcción ajustada, a prueba de la intemperie y los insectos.

5.2.2.2.3. Extrema hendibilidad

Con excepción de los bambúes de paredes gruesas tales como el bambusa tulda y dendrocalamus strictus o aquellos de madera relativamente blanda, tales como ciertas especies de Guadua, los bambúes tienen tendencia a rajarse fácilmente, tendencia que proscribiera el empleo de clavos. Ello también limita el tipo de técnicas adecuadas para la construcción o unión de las unidades estructurales.

5.2.2.3. Duración

El bambú tiene una muy corta duración. Algunos bambúes son altamente susceptibles a la invasión o parcial destrucción por los insectos xilófagos, tales como las termitas o polillas. Pueden

seleccionarse las especies de baja susceptibilidad a tales ataques, y las cañas pueden tratarse para hacerlas menos vulnerables. Las superficies cortadas de los extremos de las cañas son los sitios por donde los insectos efectúan por lo general su entrada y deben ser motivo de especial cuidado.

Muchos bambúes muestran también una gran susceptibilidad al ataque de la podredumbre por hongos, especialmente en condiciones húmedas y al contacto con el suelo húmedo. En este caso, también la selección de las especies ha de contribuir a superar estas debilidades, pero deberá emplearse alguna forma de tratamiento preservante para prolongar la utilidad de los bambúes expuestos a los suelos húmedos.

5.2.2.4. Preservación

Los bambúes varían de especie en especie en cuanto a la susceptibilidad de sus cañas a la invasión de los insectos xilófagos. Tanto el contenido de almidón de la madera como el de humedad, varían con las especies y la edad de las cañas, especialmente durante los primeros dos años, o algo más o menos. El contenido de almidón puede aumentar o disminuir desde la base hacia el extremo de la caña. Toda reducción del almidón o del contenido de humedad, o ambos, tiende a reducir la posibilidad de ataque por los insectos xilófagos.

5.2.2.5. Usos

El solo bambú puede ser utilizado para hacer partes de una casa con excepción del fogón de la chimenea. En la mayoría de los casos, sin embargo, el bambú es combinado con otros materiales de construcción

tales como madera, arcilla, cal, cemento, hierro galvanizado, y hojas de palma, de acuerdo con su relativa eficiencia, disponibilidad y costo.

El uso del bambú como material de construcción, ya sea primario, secundario, u ocasional es común en las áreas donde el bambú adecuado crece en suficiente cantidad. La importancia del bambú en cualquier región dada está determinada habitualmente por el nivel económico de la gente común por el puesto de otros materiales mas durables.

El bambú se puede utilizar, en la construcción, para:

- Cimientos
- Estructuras
- Pisos, puertas y ventanas
- Techos
- Canales y desagües
- Concreto reforzado con bambú
- Otros

5.2.3. Unidades de mampostería^{20, 19, 4}

5.2.3.1. Bloques

El block de cemento se ha venido utilizando en la construcción por un largo periodo de tiempo, esto se debe en gran parte a la aceptación que éste tiene y que viene también ligado a la resistencia estructural que éste observa.

A pesar de ser un elemento pesado algunos constructores dicen que el

block es un elemento modular que permite tener una gran libertad en cuanto al diseño ya en el proceso de la construcción.

5.2.3.2. Principales características

5.2.3.2.1. Clasificación según COGUANOR

Según su uso:

- Tipo A: para paredes de carga, expuestas o no a la humedad.
- Clase A1: para paredes de carga expuestas a la humedad.
- Clase A2: para paredes de carga no expuestas a la humedad.
- Tipo B: para paredes que no soportan cargas o para paredes divisorias.
- Clase B1: para paredes que no soportan cargas expuestas a la humedad.
- Clase B2: para paredes que no soportan cargas no expuestas a la humedad

Según los agregados:

- Pesados: fabricado con agregados normales o convencionales.
- Semipesados: fabricado con una mezcla de agregados normales y livianos.
- Livianos: fabricado con agregados livianos.

5.2.3.2.2. Dimensiones

Los bloques trabajan en conjunto y debe procurarse que las características y dimensiones de todos los bloques sean similares ya que estas diferencias pueden afectar notablemente el resultado final.

Adicionalmente de la clasificación, los bloques se identifican por sus medidas en el siguiente orden: largo, alto y ancho.

TABLA XIII: Dimensiones de los bloques de concreto

Denominación Ordinaria (cm)	Dimensiones normales (cm)	Dimensiones modulares (cm)
10	39 x 19 x 9	40 x 20 x 10
15	39 x 19 x 14	40 x 20 x 15
20	39 x 19 x 19	40 x 20 x 20
25	39 x 19 x 24	40 x 20 x 25
30	39 x 19 x 29	40 x 20 x 30

Como se observa en las ilustraciones, los bloques presentan paredes y nervios, también para estas secciones de los bloques existen unos espesores mínimos establecidos en la norma, dependiendo la clasificación del bloque.

FIGURA 24: Bloque Estandar

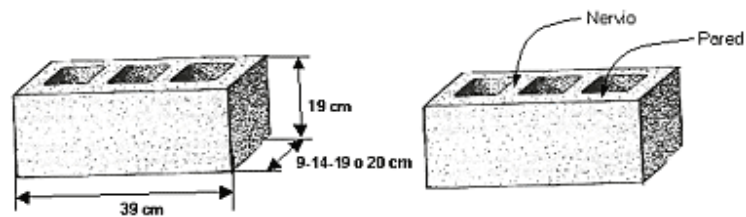


TABLA XIV: Espesores mínimos para bloques Tipo A

Tipo de Bloque (cm)	Espesor de la pared (cm)	Espesor de nervios (cm)
10	1.9	1.9
15	2.2	2.2
20	2.5	2.5
25	2.8	2.8
30	3.2	3.2

TABLA XV: Espesores mínimos para bloques Tipo B

Tipo de Bloque (cm)	Espesor de la pared (cm)	Espesor de nervios (cm)
10	1.3	1.3
15	1.5	1.5
20	1.7	1.7
25	1.9	1.9
30	2.2	2.2

5.2.3.2.3. Resistencia

TABLA XVI: Resistencia a la compresión de bloques de concreto

Tipo de Bloque	Promedio 3 Bloques	Mínimo 1 Bloque
A1	70 (kg/cm ²)	55 (kg/cm ²)
A2	50 (kg/cm ²)	40 (kg/cm ²)
B1 – B2	30 (kg/cm ²)	25 (kg/cm ²)

Para realizar estos ensayos se requiere de equipos especiales y de la asistencia de un laboratorio. Pero a continuación le sugerimos varios métodos prácticos, pero obviamente no científicos, para verificar la resistencia de los bloques en campo.

Al golpearlo ligeramente, el sonido del bloque de buena calidad es sonoro y metálico, por el contrario uno de baja calidad presenta un sonido sordo y hueco.

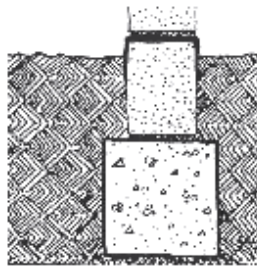
Otro método, es dejar caer el bloque desde la altura del pecho y que el impacto lo sufra sobre su costado más ancho (caras). Si el bloque se desborona mucho éste pudiera ser de baja calidad, mientras que uno de calidad al caer solamente perderá pequeños fragmentos (puntas o bordes) pero mantiene su contextura.

Adicionalmente se puede rayar el bloque con un elemento duro (clavo, destornillador, etc.) sobre una de sus caras y verificar que al pasar el elemento, el material no se desmorona.

5.2.3.2.4. Absorción

Los bloques de buena calidad deben tener una baja absorción, más aún si van a estar en contacto directo con el suelo o en las paredes de tanques.

FIGURA 25: Absorción del bloque



5.2.3.2.5. Apariencia

Esta característica es muy amplia y puede abarcar muchos puntos, pero entre los principales se pueden considerar:

- El bloque no debe presentar grietas paralelas a la carga.
- La superficie del bloque debe ser uniforme y asegurar la adherencia del friso.
- La textura debe ser firme y no presentar desboronamiento del material.
- Los bordes no deben presentar irregularidades y deshacerse con facilidad.
- El color debe ser gris claro y no blanquecino.

5.2.3.2.6. Ventajas económicas

El block, además de su costo reducido por m² de muro, ofrece las siguientes ventajas económicas:

- El empleo de bloques de concreto permite una reducción apreciable en la mano de obra con relación a otros sistemas, tanto por el menor número de unidades a colocar (12 ½ bloques por m² de pared), como por la simplificación de tareas.
- El muro de bloques de concreto requiere menor cantidad de mortero, lo que significa economía de mano de obra y de materiales.
- Los paramentos de la albañilería de bloques resultan lisos y regulares, por lo cual no exigen necesariamente revestimiento. Eventualmente se puede mejorar el aspecto con pintura de cemento. En caso que se especifica revestimiento, el espesor del revoque es reducido, por lo que se obtiene economía de materiales y de mano de obra
- El empleo de bloques de concreto facilita el refuerzo del muro.
- El muro con bloques de concreto presenta gran durabilidad y brinda al usuario confort térmico y acústico.

5.2.3.2.7. Muestreo y conformidad

5.2.3.2.7.1. Selección de los especímenes para ensayo

Para propósitos de los ensayos, unidades enteras de albañilería de concreto serán seleccionadas por el comprador y el vendedor o sus representantes de acuerdo a lo establecido por un método

aceptado para el muestreo aleatorio que acuerden o adopten. En todo caso las unidades deberán ser seleccionadas utilizando una tabla estadística de números aleatorios. Se deberá tener cuidado para que no se modifiquen las características de las unidades.

Los especímenes serán representativos del lote total de unidades de los cuales han sido seleccionados. Si los especímenes para el ensayo son seleccionados en obra, las unidades para el ensayo del contenido de humedad serán muestreadas de la remesa del comprador y colocadas en un envase sellado. Los especímenes seleccionados tendrán configuración y dimensiones similares.

5.2.3.2.7.2. Numero de especimenes

Para determinar la resistencia a la compresión, absorción, peso unitario (densidad), y contenido de humedad, se seleccionarán seis unidades de cada lote de 10 000 unidades o menos y 12 unidades de cada lote de mas de 10 000 y menos de 100 000 unidades. Para lotes de mas de 100 000 unidades, se seleccionarán seis unidades por cada 50 000 unidades o fracción. Especimenes adicionales se pueden tomar por acuerdo del comprador y el vendedor.

Para su identificación se marca cada espécimen de manera que pueden ser identificados en cualquier momento. Las marcas cubrirán no más del 5% del área superficial del espécimen.

5.2.3.3. Ladrillos^{20, 4, 15, 45}

5.2.3.3.1. Proceso de fabricación

- **Minería:**

Minería a cielo abierto: Extracción de arcilla.

- **Fase de Homogenización:**

Se colocan los materiales en pilas y con el buldozer se revuelven.

Se humecta dependiendo del tipo de arcilla y del producto final.

Se tritura el material en un molino.

Se aplanan con una máquina aplanadora de rodillos.

- **Fase de Limpieza:**

Se separan las raíces, piedras y hojas con una máquina dotada de unas aspas y unas rejillas que atrapan el material no deseado.

- **Preparación para la Extrusión:**

Se realiza en una tolva y se disminuye el tamaño del material.

- **Fase de Extrusión:**

1. Se realiza en dos máquinas extrusoras, de las cuales sale el material con la forma final.

2. La forma se le da con unas boquillas en las máquinas extrusoras, dependiendo del tipo de ladrillo deseado.

3. El material es cortado teniendo en cuenta las dimensiones necesarias, esto se hace con una máquina que corta el material cada cierta distancia.

- **Fase de Secado:**

Este se realiza mediante aire caliente insuflado ($T = 70$ a 80° C), iniciando el proceso con una temperatura baja y aumentándola después para evitar el choque térmico. Tiene una duración entre 24 y 48 horas dependiendo del tipo de ladrillo y se efectúa en unas cámaras con capacidad de hasta unas 100,000 unidades.

- **Fase de Horneado:**

Se realiza en un horno largo con una gran capacidad, que consta de cámaras que se cierran dependiendo de la necesidad ($T = 800$ y 1300°C).

5.2.3.3.2. Composición

Las principales materias primas utilizadas en la industria del ladrillo son: arcilla, arena y agua.

Las arcillas utilizadas, por lo general, son de 2 clases:

- Arcillas refractarias. Están compuestas por dióxido de silicio (SiO_2), Alumina (Al_2O_3) y agua principalmente, conteniendo óxidos de hierro en diversas cantidades, que no sólo las oscurece, sino que hace disminuir ligeramente sus temperaturas de ablandamiento. Pueden contener pequeñas cantidades de elementos alcalinos y alcalino-terreos.

Estas arcillas se utilizan para fabricar ladrillos con buena resistencia a temperaturas elevadas.

- Arcillas ferruginosas y calcareas. Contienen mayores cantidades de hierro, álcalis y óxidos alcalino-terreos. Tienen temperaturas más bajas de ablandamiento y según el contenido de hierro, pueden variar en la coloración desde casi blancas a una totalidad roja profunda.

Estas arcillas se utilizan en la fabricación de ladrillos para construcción, baldosas estructurales, losas para desagüe y otros objetos similares.

Especificaciones. Los ladrillos de construcción se fabrican de tal modo que satisfagan varias especificaciones, dependiendo del uso al cual se destinan.

La clasificación se basa en la diferencia a la resistencia a la compresión, la absorción de agua, la resistencia a la refrigeración y el deshielo.

A medida que se aumenta la temperatura de cocido, aumenta la resistencia, disminuye la porosidad y los ladrillos adquieren una coloración más oscura, son más densos y disminuye la absorción de agua.

5.2.3.3.3. Clasificación

Los ladrillos de construcción se clasifican en:

- De fachada.
- Comunes.
- Refractarios.

Los ladrillos de fachada son más oscuros, densos y fuertes que los comunes, debido a las temperaturas más altas de cocción a que se someten, puesto que no absorben tanta agua como los comunes. Son más resistentes a daños por hielo y por lo tanto se utilizan en fachadas de edificios.

Los ladrillos refractarios se fabrican con arcillas precocidas y preencogidas con el fin de obtener un producto dimensionalmente estable. La resistencia a la compresión es baja ya que no tienen como fin soportar cargas estructurales, sino confinar las llamas a temperaturas elevadas del aire, para proteger a los miembros estructurales.

5.2.3.3.4. Características

- Aislamiento térmico y acústico. Estas propiedades se deben al sistema de poros, propios de la tierra cocida. Estas propiedades aislantes, pueden controlarse y mejorarse mediante una perforación geométrica adecuada del ladrillo.
- Acumulación de calor. Elemento aislante por excelencia, el ladrillo acumula calor y se comporta, con respecto a las fluctuaciones de temperatura exterior, como una instalación de climatización.
- Difusión de vapor. Los ladrillos tienen poros abiertos lo suficientemente grandes para permitir el paso del vapor de agua y del aire, pero lo bastante pequeños para impedir la penetración del agua lluvia. Los ladrillos son fabricados para que puedan acumular humedad y eliminarla rápidamente, resultando una baja humedad de equilibrio.
- Variaciones de forma y volumen. La dilatación térmica del ladrillo es menor que la de otros materiales, tales como: hormigón, acero, cobre y madera. De igual modo la lenta deformación que se produce en el elemento, sometido a una carga permanente, es prácticamente insignificante.
- Resistencia al fuego. El comportamiento del ladrillo en caso de incendio es excelente. Se ha demostrado que la capacidad

portante del muro de ladrillo a temperaturas altas, no disminuye en forma peligrosa.

- Posibilidades arquitectónicas. Las paredes de ladrillo pueden recibir cualquier tipo de revestimiento. Así mismo pueden quedar a la vista, ya que las texturas en cerámica admiten una ilimitada gama de posibilidades.
- Facilidad de Utilización. Por ser un material muy conocido y ya probado.
- Economía. En términos generales, se puede decir que en el presupuesto de una obra, el rubro correspondiente al ladrillo no sobrepasa el 5%.
- Decorativo. Tiene un alto valor estético y conserva su belleza a través del tiempo.
- Durabilidad. Los ladrillos han estado vigentes en todas las épocas y estilos de la humanidad y se ha hecho excelente arquitectura que aún perdura, demostrando su comportamiento y durabilidad.

5.2.3.4. Piedra

La piedra natural es quizás el material de construcción más antiguo, abundante y duradero, se encuentra predominantemente en zonas montañosas. Varios tipos y formas de piedra natural también pueden procesarse para producir otros materiales de construcción.

5.2.3.4.1. Clasificación

Las principales rocas utilizadas en la construcción se dividen en tres categorías geológicas:

- a. **Rocas Igneas:** generalmente cristalinas, formadas por el enfriamiento del magma fundido, expulsado a través de las grietas de la corteza terrestre durante las erupciones volcánicas. Es por esto que no pueden contener fósiles o caracoles. Los ejemplos más comunes: granito y piedras volcánicas.
- b. **Rocas Sedimentarias:** comúnmente se encuentran en estratos, formadas por la desintegración y descomposición de las rocas ígneas debido a factores climatológicos (agua, viento, hielo), o por la acumulación de origen orgánico. Los ejemplos mas comunes: arenisca y piedra caliza.
- c. **Rocas Metamórficas:** son rocas sedimentarias o ígneas transformadas estructuralmente, como consecuencia de altas temperaturas y elevadas presiones. Los ejemplos más comunes: pizarras (derivado de la arcilla), cuarcitas (de la arenisca) y mármol (de la piedra caliza).

5.2.3.4.2. Aplicaciones

Entre las aplicaciones de la piedra para la construcción se tienen:

- Piedra bruta para cimientos, pisos, muros, o en estructuras de techos planos en voladizo, en todos los casos con o sin mortero.
- Sillar (piedra cuadrada o con forma) para obras de albañilería de formas regulares, antepechos de ventanas, dinteles, gradas y pavimentos.
- Piedra impermeable (por ejemplo, granito) como barreras impermeables; también como enchapados del exterior de muros, aunque menos adecuado para construcciones de bajo costo.
- Pizarras para techos.

- Grava y fragmentos de roca como áridos para concreto y terrazo.
- Granulados para superficie de protección de fieltros asfálticos.
- Polvos para pintura.
- Piedra caliza para la producción de cal y cemento.

TABLA XVII: Materiales de Roca y Aplicaciones en Construcción

Tipos	Caliza	Granito	Mármol	Pizarra	Cuarcitas
Uso	Muros y enchapados	Muros, zócalos enchapados, revestido y gradas	Contorno de ventanas, pisos y gradas	Enchapado de vigas, albardilla de gradas y pavimento	Zócalo enchapado, pisos, pavimentos y gradas
Composición	Carbonato de calcio	Principalmente feldespato, cuarzo y mica	Principalmente Carbonato de calcio	Principalmente sílice, óxidos de aluminio y hierro	Principalmente cuarzo
Método de Producción	Extraído de la cantera, cortado al tamaño (mampostería y aserrado), acabado según se pida, por ejemplo según modelo, roca labrada, puntiaguda, piqueteado fino, raspado, cascarón o pulido.		Igual que la caliza, arenilla y granito		Acabado natural, rajado
Peso Específico Kg/m ³	1900-2700	2400-2900	2725-2900	2400-2900	Aprox. 2600
Resistencia a la Compresión MN/m ²	29-59	90-146	Aprox. 60	75-200	Aprox. 100
% de absorción	2.5-11	0.1-0.5	01-05	0.1	01-05
Grado de Combustibilidad	Todos no son combustibles				
% Expansión de la Humedad	Aprox. 0.01	Ninguno		Despreciable	
Reacción química	Atacado por ácidos	Resistente a muchos productos químicos	Atacado por ácidos	Principalmente resistente a ácidos	Resistente a muchos ácidos
Resistencia a efectos de sales solubles	Escaso a muy bueno	Escaso a bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Coefficiente de Expansión Térmica (por °C aproximaciones)	4 x 10 ⁻⁶	11 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁶	11 x 10 ⁻⁶	11 x 10 ⁻⁶
Conductividad térmica (W/m °C aproximaciones)	1.5	3.0	2.5	1.9	3.0
Resistencia al hielo	Escaso a muy bueno	Bueno a excelente	Bueno a excelente	Bueno a excelente	Bueno a excelente
Durabilidad	Depende del comportamiento térmico, resistencia a productos químicos y a aplicación en la construcción		Depende del comportamiento térmico, resistencia a productos químicos y la aplicación en la construcción.		
Facilidad de trabajo	Fácil a poco trabajable	Poco trabajable	Difícil de trabajar	Poco trabajable	Poco trabajable
Propensión a ensuciarse	Llega a mancharse en áreas urbanas	Resistente a mancharse	Bastante resistencia a mancharse	Resistente a mancharse	
Facilidad de limpieza	Fácil de limpiar	Difícil de limpiar		Difícil de limpiar	

Fuente: IMCA A. C. . Manual De Construcción. Ed. Limusa.

5.2.3.4.3. Ventajas

- Disponible en abundancia y fácilmente accesible en zonas montañosas; la extracción generalmente requiere bajos costos de inversión y consumo de energía.
- La mayoría de las variedades de piedra son muy resistentes y durables; los requerimientos de mantenimiento son despreciables.
- La impermeabilidad de gran parte de las variedades de piedra, proporciona una buena protección contra la lluvia.
- Climáticamente apropiada en zonas áridas y de la sierra, debido a la alta capacidad térmica de la roca.

5.2.3.4.4. Problemas y soluciones

Problemas

- Deterioro como resultado de la contaminación atmosférica, por ejemplo cuando los compuestos de azufre disueltos en el agua de lluvia producen ácido sulfúrico, el cual reacciona con el carbonato en la roca caliza causando descascaramientos y burbujas de aire.
- Eflorescencia y cuarteado causado por ciertas sales y espuma del mar.
- Daños debidos a los movimientos térmicos de algunas piedras, especialmente cuando están rígidamente fijos a materiales con movimiento térmico diferenciado, por ejemplo concreto.
- Daños superficiales debido al agua, que disuelve lentamente a la piedra caliza; y/o por un continuo humedecimiento y secado en ciertas areniscas; o por el congelamiento del agua atrapada en las grietas

- Poca resistencia a los movimientos sísmicos. por lo que hay la probabilidad de destrucción y dañar a los habitantes

Soluciones

- Evitar la utilización de rocas calizas y areniscas calcáreas cerca a las fuentes de contaminación atmosférica, por ejemplo en donde se emite dióxido de azufre (del quemado de carbón de piedra y petróleo).
- Evitar tratamientos en la superficie en donde se adhieren las sales; limpiar ocasionalmente las piedras afectadas con una esponja, ayuda a retirar las sales especialmente en áreas costeras.
- Construcción de juntas de dilatación para acomodar las diferencias entre los movimientos térmicos de los materiales adyacentes.
- Construcción de detalles que permitan retirar el agua por evaporación o desecar; para evitar daños de heladas o la destrucción de la roca caliza por la acción química del agua.
- Realizar un cuidadoso diseño de la construcción, especialmente con refuerzos en las esquinas, viga de amarre, etc., en áreas propensas a movimientos sísmicos; evitar especialmente para bóvedas de piedra o techos en voladizo.

5.2.4. Metales

Los metales ferrosos como su nombre lo indica su principal componente es el hierro, sus principales características son su gran resistencia a la tensión y dureza. Las principales aleaciones se logran con el estaño, plata, platino, manganeso, vanadio y titanio.

Los principales productos representantes de los materiales metálicos son:

- Fundición de hierro gris
- Hierro maleable
- Aceros

- Fundición de hierro blanco

Su temperatura de fusión va desde los 1360°C hasta los 1425°C y uno de sus principales problemas es la corrosión.

5.2.4.1. Características principales

En los procesos de manufactura son de gran importancia las propiedades de ingeniería, de las que destacan las siguientes:

- Resistencia a la tensión
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la torsión
- Ductilidad
- Prueba al impacto o de durabilidad
- Dureza

Cada una de las propiedades antes señaladas requiere de un análisis específico y detallado. A continuación sólo se presentan algunas de sus principales características.

Resistencia a la tensión

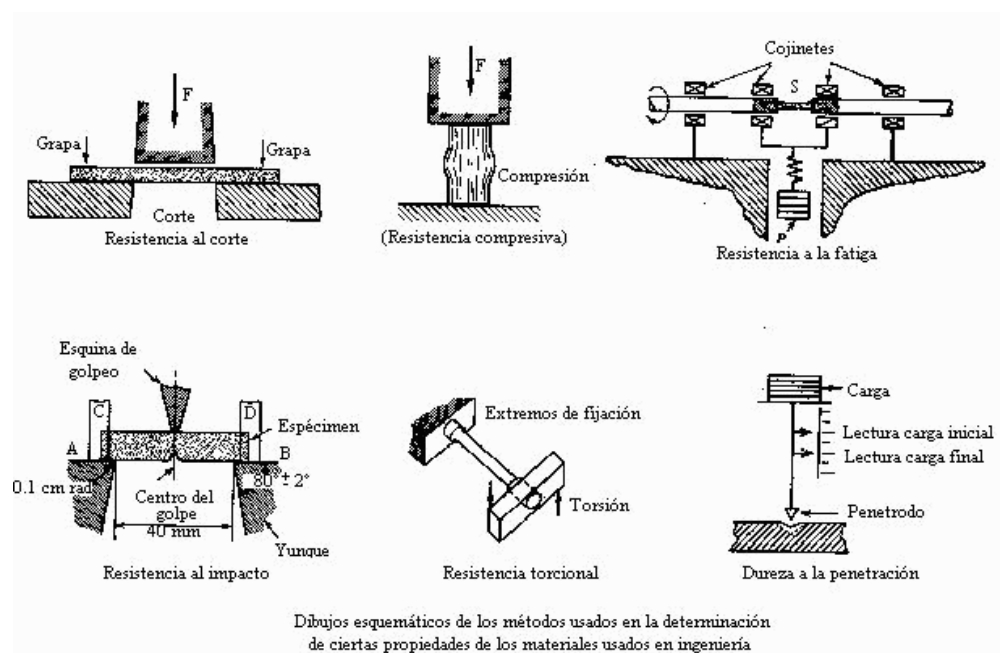
Se determina por el estirado de los dos extremos de una probeta con dimensiones perfectamente determinadas y con marcas previamente hechas. Al aplicar fuerza en los dos extremos se mide la deformación relacionándola con la fuerza aplicada hasta que la probeta rebasa su límite de deformación elástica y se deforma permanentemente o se rompe.

Varias de las características de ingeniería se proporcionan con relación a la resistencia a la tensión. Así en algunas ocasiones se tienen referencias como las siguientes:

- La resistencia al corte de un material es generalmente el 50% del esfuerzo a la tensión.
- La resistencia a la torsión es alrededor del 75% de la resistencia a la tensión.
- La resistencia a la compresión de materiales relativamente frágiles es de tres o cuatro veces la resistencia a la tensión.

En los siguientes diagramas se muestran algunos de los procedimientos comunes para aplicar las pruebas de resistencia al corte, la compresión, la fatiga o durabilidad, el impacto, la torsión y de dureza.

FIGURA 26: Pruebas de resistencia al corte, la compresión, la fatiga o durabilidad, el impacto, la torsión y de dureza.



Dureza

Por lo regular se obtiene por medio del método denominado resistencia a la penetración, la cual consiste en medir la marca producida por un penetrador, con características perfectamente

definidas y una carga también definida; entre más profunda es la marca generada por el penetrador de menor dureza es el material.

Existen varias escalas de dureza, estas dependen del tipo de penetradores que se utilizan y las normas que se apliquen. Las principales pruebas de dureza son Rockwell, Brinell y Vickers.

TABLA XVIII: Propiedades de los Metales

MATERIAL	PESO ESPECIFICO (Kg/dm ³)	TEMPERATURA DE FUSION (°C)	MODULO DE ELASTICIDAD (Kg/mm ²)	CONDUCTIVIDAD CALORIFICA (cm·s·°C)	COEFICIENTE DE DILATACIÓN LINEAL	CALOR ESPECIFICO $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (ohm·mm ² /m)
Acero con 0,2 % C	7.85	1500	21000	0.12	11 · 10 ⁻⁶	0.11	8.3
Acero con 0,6 % C	7.84	1470	21000	0.11	11 · 10 ⁻⁶	0.11	7.8
Acero con 0,35 % C	7.85	1480	21000	0.12	11 · 10 ⁻⁶	0.11	8
Aluminio al 95,5 %	2.70	659	7000	0.53	23.8 · 10 ⁻⁶	0.22	37-35
Duraluminio (Al-Cu-Mg)	2.8	520-650	7200	0.35	23 · 10 ⁻⁶		20
Plomo	11.34	327	1800	0.084	29 · 10 ⁻⁶	0.031	4.8
Hierro Puro (Acero)	7.86	1530	21070	0.16	12 · 10 ⁻⁶	0.111	10
Fundición de hierro	7.1-7.3	1152-1350		0.07-0.11	9 · 10 ⁻⁶	0.031	0.5-2
Oro	19.3	1063	8120	0.75	14 · 10 ⁻⁶		45
Cobre	8.9	1083	12500	0.94	17 · 10 ⁻⁶	0.093	57-55
Níquel	8.8	1452	21000	1.14	13 · 10 ⁻⁶	0.11	11.5
Platino	21.4	1774	16700	0.17	9 · 10 ⁻⁶	0.04	9
Plata	10.5	960	7000	1.01	20 · 10 ⁻⁶	0.057	62.5
Cinc	4.114	419	11000	0.26	29 · 10 ⁻⁶	0.09	16.5
Estaño	7.28	232	4150	0.15	27 · 10 ⁻⁶	0.055	8.3

Fuente: Buen, Oscar. Estructuras De Acero. Ed. Limusa, 1998.

5.2.4.2. Estructura del metal

Todos los materiales están integrados por átomos los que se organizan de diferentes maneras, dependiendo del material que se trate y el estado en el que se encuentra. Cuando un material se encuentra en forma de gas, sus átomos están más dispersos o desordenados (a una mayor distancia uno de otro) en comparación con los átomos de ese mismo material pero en estado líquido o sólido. Existen materiales en los que sus átomos siempre están en desorden o desalineados aún en su

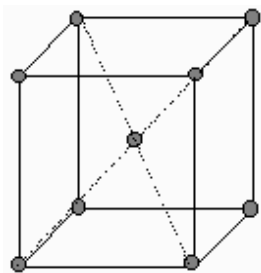
estado sólido, a estos materiales se les llama materiales amorfos, un ejemplo es el vidrio, al que se considera como un líquido solidificado.

En el caso de los metales, cuando estos están en su estado sólido, sus átomos se alinean de manera regular en forma de mallas tridimensionales. Estas mallas pueden ser identificadas fácilmente por sus propiedades químicas, físicas o por medio de los rayos X. Cuando un material cambia de tipo de malla al modificar su temperatura, se dice que es un material polimorfo o alotrópico.

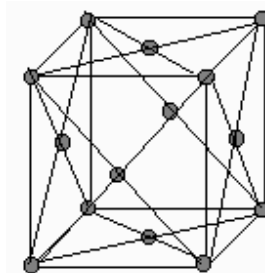
Cada tipo de malla en los metales da diferentes propiedades, no obstante que se trata del mismo material, así por ejemplo en el caso del hierro aleado con el carbono, se pueden encontrar tres diferentes tipos de mallas: la malla cúbica de cuerpo centrado, la malla cúbica de cara centrada y la malla hexagonal compacta. Cada una de estas estructuras atómicas tiene diferentes números de átomos, como se puede ver en las siguientes figuras.

FIGURA 27: Estructuras atómicas

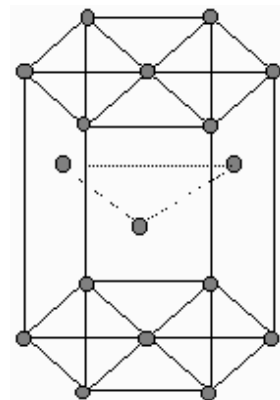
**Malla cúbica de
cuerpo centrado**



**Malla cúbica de
cara centrada**



**Malla hexagonal
compacta**



Fuente: BRESCIA, Frank y otros. Química.

La malla cúbica de cuerpo de cuerpo centrado. Es la estructura que tiene el hierro a temperatura ambiente, se conoce como hierro alfa. Tiene átomos en cada uno de los vértices del cubo que integra a su estructura y un átomo en el centro. También se encuentran con esta estructura el cromo, el molibdeno y el tungsteno.

La malla cúbica de cara centrada aparece en el hierro cuando su temperatura se eleva a aproximadamente a 910°C , se conoce como hierro gamma. Tiene átomos en los vértices y en cada una de sus caras, su cambio es notado además de por los rayos X, por la modificación de sus propiedades eléctricas, por la absorción de calor y por las distancias intermoleculares. A temperatura elevada el aluminio, la plata, el cobre, el oro, el níquel, el plomo y el platino son algunos de los metales que tienen esta estructura de malla.

La malla hexagonal compacta se encuentra en metales como el berilio, cadmio, magnesio, y titanio. Es una estructura que no permite la maleabilidad y la ductilidad, es frágil.

Modificar a una malla de un metal permite la participación de más átomos en una sola molécula, estos átomos pueden ser de un material aleado como el carbón en el caso del hierro, lo que implica que se puede diluir más carbón en un átomo de hierro. Si se tiene en cuenta que el carbón es el que, en ciertas proporciones, da la dureza al hierro, entonces lo que se hace al cambiar la estructura del hierro es permitir que se diluya más carbón, con lo que se modifican sus propiedades.

Otra de las características de los metales que influye notablemente en sus propiedades es el tamaño de grano, el cual depende de la velocidad

de enfriamiento en la solidificación del metal, la extensión y la naturaleza del calentamiento que sufrió el metal al ser calentado.

5.2.4.3. Uso de los metales en Ingeniería Civil

5.2.4.3.1. Varilla

5.2.4.3.1.1. Varilla corrugada

DESCRIPCION: Barras de acero rectas de sección circular, con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto.

USOS: En la fabricación de estructuras de concreto armado en viviendas, edificios, puentes, represas, canales de irrigación, etc.

NORMAS TECNICAS: Composición Química, Propiedades

Mecánicas y Tolerancias dimensionales: ASTM A615 - 96a.

TABLA XIX: Dimensiones y pesos nominales de la varilla corrugada

Número Designación	Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro Nominal (pulg)		Diámetro Pin* Ensayo Doblado (pulg.)		Varillas por Quintal		
		Mínimo	Máximo	Grado 40	Grado 60	6 mts	9 mts	12 mts
3	3/8	9.24	9.50	1.31	1.31	13.29	8.86	6.65
4	1/2	12.31	12.70	1.75	1.75	7.48	4.99	3.74
5	5/8	15.39	15.90	2.19	2.19	4.79	3.20	2.40
6	3/4	18.47	19.10	3.75	3.75	3.32	2.22	1.66
7	7/8	21.55	22.20	4.38	4.38	2.45	1.63	1.22
8	1	24.63	25.40	5.00	5.00	1.87	1.25	0.94
9	1 1/8	27.78	28.70	-----	7.90	1.47	0.98	0.74
10	1 1/4	31.28	32.30	-----	8.89	1.16	0.77	0.58
11	1 3/8	34.72	35.80	-----	12.69	0.94	0.63	0.47

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia (f_y) = 4220 - 5710 kg/cm²

Resistencia a la Tracción (R) = 6330 kg/cm² mínimo

Relación R/ f_y \geq 1,25

Alargamiento en 200 mm:

Diámetros:

6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8" y 3/4" = 9% mínimo

1" = 8% mínimo

1 3/8" = 7% mínimo

Doblado a 180° = Bueno en todos los diámetros.

Los diámetros de doblado especificados por las Normas Técnicas para la prueba de doblado son:

TABLA XX: Diámetros de doblado

DIAMETRO BACO (d)	6 mm	8 mm	3/8"	12 mm	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"
DIAMETRO DOBLADO	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	5d	5d	7d
Mm	21.0	28.0	33.3	42.0	44.5	55.6	95.5	127.0	250.6

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

IDENTIFICACION:

Las barras son identificadas por marcas de laminación en alto relieve que indican el fabricante, el diámetro y el grado del acero.

5.2.4.3.1.2. Varilla lisa

Es un producto laminado en caliente de sección circular y de superficie lisa.

USOS: Como estribo en columnas y vigas. En barras rectas, en lozas como esfuerzo de repartición y temperatura.

PRESENTACION: En rollos de 440 kg. También puede ser suministrado en barras rectas enderezadas de 6 m de longitud.

DIMENSIONES Y PESOS:

TABLA XXI: Dimensiones y Pesos de la Varilla Lisa

DIAMETRO (mm)	SECCION (mm ²)	PERIMETRO (mm)	PESO (kg/m)
6.0	28.0	18.9	0.222

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

COMPOSICION QUIMICA:

TABLA XXII: Composición química de la varilla lisa

%P máx.	%S máx.
0.050	0.060

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

- Tolerancia en el Diámetro = ± 0.5 mm
- Tolerancia en la Ovalización = 0.7 mm máx.

DUCTIBILIDAD:

El alambón liso para construcción de 6 mm, es fabricado por laminación en caliente y enfriamiento natural, lo que le da alta ductilidad y trabajabilidad.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia (f_y) = 3800 kg/cm² mínimo.

Resistencia a la Tracción (R) = 6300 kg/cm² mínimo.

Alargamiento en 200 mm = 8% mínimo.

Doblado a 180° = Bueno.

Diámetro de Doblado = 24.0 mm.

5.2.4.3.1.3. Varilla cuadrada

DESCRIPCION: Producto de acero laminado en caliente de sección cuadrada.

USOS: En la fabricación de estructuras metlicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas, etc.

NORMAS TECNICAS:

- Composición química y propiedades mecánicas: ASTM A36 - 96.

PRESENTACION: Se produce en longitudes de 6 metros. Se suministra en paquetes de 4 TM, los cuales están formados por 4 paquetes de 1 TM c/u.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS (%):

C = 0.26 máx. Mn = 0.60 / 0.90 (para dimensiones mayores que 3/4"), P = 0.040 máx. S = 0.050 máx, Si = 4.40 máx.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

- Límite de Fluencia mínimo = 2530 kg/cm².
- Resistencia a la Tracción = 4080 - 5620 kg/cm² (*).

- Alargamiento en 200 mm

Dimensiones:

- 1/4" = 17.0% mínimo

- 9 mm, 12 mm, 15mm, 3/4", 7/8", y 1" = 20.0% mínimo

- Doblado = Bueno
- Soldabilidad = Buena soldabilidad.

(*) Cuadrados de 1/4" y 9mm, la resistencia a la tracción es de 3500 kg/cm².

TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA:

1. Tolerancias en la dimensión:

TABLA XXIII: Tolerancias en la dimensión de la varilla cuadrada

Dimensión Nominal (d) mm	Tolerancias (mm)
$d \leq 15$	± 0.4
$15 < d \leq 25$	± 0.5
$25 < d \leq 35$	± 0.6

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

2. Fuera de Cuadrado: 75% de tolerancia.
3. Flecha Máxima: 12 mm.
4. Tolerancia de Longitud: + 50 mm

5.2.4.3.2. Perfiles

5.2.4.3.2.1. Angulares

DESCRIPCION: Producto de acero laminado en caliente cuya sección transversal está formada por dos alas de igual longitud, en ángulo recto.

USOS: En la fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industria

naval, carrocerías, torres de transmisión. También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

NORMAS TECNICAS:

- Sistema Inglés : ASTM A36 / A36M - 96.
- Sistema Métrico : Propiedades Mecánicas : ASTM A36 / A36M – 96.

PRESENTACION: Se produce en longitudes de 6 metros.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS (%):

C = 0.26 máx. Si = 4.40 máx. P = 0.040 máx. S = 0.050 máx.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

- Límite de Fluencia mínimo = 2530 kg/cm².
- Resistencia a la Tracción = 4080 - 5620 kg/cm² (*).
- Alargamiento en 200 mm

Espesores:

- 2.5mm , 3.0mm y 1/8" = 12.5 % mínimo
 - 4.5 mm = 14.5 % mínimo
 - 3/16" = 15.0 % mínimo
 - 6,0 mm = 17.0 % mínimo
 - 1/4" = 17.5 % mínimo
 - Soldabilidad = Buena soldabilidad.
- (*) Para el espesor de 2.5 mm la resistencia a la tracción mínima es de 3500 kg/cm².

5.2.4.3.2.2. Tees

DESCRIPCION: Producto de acero laminado en caliente de sección en forma de T.

NORMAS TECNICAS:

Sistema Inglés: ASTM A36 / A36M - 96.

Sistema Métrico: - Propiedades Mecánicas : ASTM A36 / A36M - 96.

PRESENTACION: Se produce en longitudes de 6 metros.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS (%):

C = 0.26 máx. Si = 0.40 máx. P = 0.040 máx. S = 0.050 máx.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo = 2550 kg/cm².

Resistencia a la Tracción = 4080 - 5610 kg/cm².

Soldabilidad = Buena soldabilidad.

Alargamiento en 200 mm:

Espesores: 3,0 mm y 1/8" = 12.5 % mínimo.

3 /16" = 15.0 % mínimo.

5.2.4.3.2.3. Vigas H

DESCRIPCION: Perfil de acero laminado en caliente cuya sección tiene la forma de H.

USOS: En la fabricación de elementos estructurales como vigas, columnas, cimbras metálicas, etc. También utilizadas en la

fabricación de estructuras metálicas para edificaciones, puentes, barcos, almacenes, etc.

NORMAS TECNICAS:

- ASTM A36-96.

PRESENTACION: Se comercializa en longitudes de 20 pies (6 096 mm). Se suministra en unidades.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS (%):

C = 0.26 máx. P = 0.040 máx. S = 0.050 máx. Si = 0.40 máx.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de fluencia mínimo = 2530 kg/cm²

Resistencia a la tracción = 4080-5610 kg/cm²

Alargamiento en 200 mm:

Espesor del Ala de 1/4" = 18% mínimo

Espesor de alas iguales ó mayores que 3/8" = 20% mínimo

Soldabilidad = Buena soldabilidad.

5.2.4.3.2.4. Canales U

DESCRIPCION: Producto de acero laminado en caliente cuya sección tiene la forma de U.

NORMA TECNICA: ASTM A36 / A36M - 96.

PRESENTACION: Se produce en longitudes de 6 metros

REQUERIMIENTOS QUIMICOS (%):

C = 0.26 máx. P = 0.040 máx. S = 0.050 máx. Si = 0.040 máx.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo = 2530 kg/cm².

Resistencia a la Tracción = 4080 - 5620 kg/cm²

Alargamiento en 200 mm:

Espesores alma: 4.3 mm y 4.5 mm = 14.5 % mínimo.

4.8 mm..... = 15.0 % mínimo.

Soldabilidad = Buena soldabilidad.

5.2.4.3.2.5. Hembras

DESCRIPCION: Producto de acero laminado en caliente de sección rectangular.

NORMAS TECNICAS:

Composición Química y Propiedades Mecánicas:

ASTM A36 - 96.

PRESENTACION: Se produce en barras de 6 metros de longitud.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS (%):

C = 0.26 máx. Mn = 0.60 / 0.90 (para espesores mayores de 3/4").

P = 0.040 máx. S = 0.050 máx. Si = 0.40 máx.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo = 2530 kg/cm².

Resistencia a la Tracción = 4080 - 5620 kg/cm².

Alargamiento en 200 mm:

Espesores: 1/8"..... = 12.5 % mínimo.

3/16"..... = 15.0 % mínimo.

1/4"..... = 17.5 % mínimo.

3/8", 1/2", 5/8", 3/4" y 1" = 20.0 % mínimo.

Doblado a 180° = Bueno.

Soldabilidad = Buena soldabilidad.

5.2.4.3.3. Tubería

5.2.4.3.3.1. Materia prima

DENOMINACION: Bobinas LAC

DESCRIPCION: Bobinas de acero laminadas en caliente. Se usa en la fabricación de tubos, perfiles plegados, así como luego de su corte en planchas, se usa para la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

NORMA TECNICA:

- ASTM A569, ASTM A36 - 96, ASTM A283 - 93a grado C

PRESENTACION:

Se presenta en la calidad comercial y en la calidad estructural. Las bobinas se entregan con peso mínimo de 5 TM.

EMBALAJE

Las bobinas deben ser ensuchadas longitudinalmente y transversalmente.

5.2.4.3.3.2. Cañería

Se producen dos diferentes clases de cañería: negra (proceso) y galvanizada. Ambas clases utilizan como materia prima lámina rolada en caliente. La cañería negra es utilizada en estructuras metálicas, sistemas óleo hidráulicos y conducción de vapor. Por otro lado la cañería galvanizada sirve en la conducción de fluidos como agua y aire a baja presión, evitando la oxidación. Puede suministrarse con extremos lisos o con rosca (tipo NPT).

La cañería se clasifica en tres tipos según el espesor de lámina: ligera, mediana y cédula 40 (o pesada). La cañería galvanizada ligera y mediana presenta un recubrimiento de zinc de 400 a 474 gramos por metro cuadrado. Para cañería cédula 40 se usa un recubrimiento de 550 gramos por metro cuadrado.

A continuación se presenta una tabla con las características de cada uno de los tipos de cañería:

TABLA XXIV: Tipos de cañería

Tipos de Cañería Negra y Galvanizada							
Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro Exterior (pulg)	Cañería Ligera		Cañería Mediana		Cañería Cédula 40	
		Espesor (pulg)	Libras por unidad	Espesor (pulg)	Libras por unidad	Espesor (pulg)	Libras por unidad
1/2	0.84	0.08	13.47	0.10	17.35	0.11	19.04
3/4	1.05	0.09	19.29	0.10	21.53	0.11	23.90
1	1.32	0.10	26.87	0.13	32.91	0.13	32.91
1 1/4	1.66	0.10	34.42	0.13	40.16	0.14	47.27
1 1/2	1.90	0.11	43.89	0.13	48.09	0.14	53.92
2	2.38	0.11	55.21	0.14	67.97	0.16	75.52
2 1/2	2.88	0.13	73.91	0.14	82.77	0.20	114.96

3	3.50	0.13	90.45	0.16	112.64	0.22	154.30
4	4.50	0.14	130.99	0.17	158.94	0.24	215.79

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

5.2.4.3.3.3. Tubería bananera

Es tubería galvanizada utilizada para armar los transportadores de las fincas bananeras. Se fabrica con lámina rolada en caliente en longitudes de 6.10 o 6.70 metros (22 pies).

Tiene un único diámetro de 1 ¼ pulgadas con un espesor de pared de 2.9 mm. Esta tubería se galvaniza con zinc por un proceso de inmersión en caliente. El recubrimiento de zinc es de 474 gramos por metro cuadrado máximo. Por el uso que se le da a este tipo de tubería, no necesita de rosca.

5.2.4.3.3.4. Tubería para cerca

Se fabrica con lámina rolada en caliente. Es tubería redonda galvanizada con 6 metros de longitud y diámetros de 1 ¼ y 1 ½ pulgadas.

El espesor de lámina es de 1.5 mm en ambos casos. Esta tubería se galvaniza con zinc por medio de un proceso de inmersión en caliente. El recubrimiento de zinc es de 400 a 474 gramos por metro cuadrado. Este tipo de tubería no se rosca.

5.2.4.3.3.5. Tubería estructural cuadrada

Este tipo de tubería es fabricada con lámina rolada en caliente. Se utiliza en el área de estructuras metálicas y en cualquier otra aplicación en donde se requieran características mecánicas de resistencia máxima (esfuerzo cedente, esfuerzo de tracción, etc.)

que garanticen y respalden su utilización. Su longitud es de 6 metros.

A continuación se presenta una tabla con las características principales de este tipo de tubería:

TABLA XXV: Tubería Estructural Cuadrada

Tubería Estructural Cuadrada					
Dimensiones (mm)	Dimensiones (pulg)	Espesor de Lamina			Peso por Unidad
		Calibre	Pulgadas	Milímetros	
25 x 25	1 x 1	16	0.059	1.5	15.66
25 x 25	1 x 1	14	0.079	2	20.46
38 x 38	1 ½ x 1 ½	14	0.079	2	30.22
38 x 38	1 ½ x 1 ½	12	0.102	2.6	38.58
51 x 51	2 x 2	14	0.079	2	40.77
51 x 51	2 x 2	12	0.102	2.6	52.25
102 x 102	4 x 4	14	0.079	2	82.79
102 x 102	4 x 4	12	0.102	2.6	106.48

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

5.2.4.3.3.6. Tubería industrial

Tubería fabricada con lámina rolada en frío. Se produce en tres tipos: cuadrada, rectangular y redonda en chapas o calibres 18 (1.2 mm), 20 (0.9 mm) y 21 (0.8 mm). Se corta a una longitud de 6 metros. Es utilizada ampliamente en carpintería metálica y herrería en general.

A continuación la información relacionada a este tipo de tubería:

TABLA XXVI: Tubería Industrial Cuadrada

Dimensiones (pulg)	Peso por Unidad (Libras)			Tubos por Atado
	Chapa 21 (0.8 mm)	Chapa 20 (0.9 mm)	Chapa 18 (1.2 mm)	
1/2	4.70	5.29	7.06	20
1/3	6.18	6.95	9.27	20
1	8.32	9.35	12.47	10
1 1/4	10.36	11.65	15.54	10
1 1/2	12.51	14.07	18.76	6

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

TABLA XXVII: Tubería Industrial Rectangular

Dimensiones (pulg)	Peso por Unidad (Libras)			Tubos por Atado
	Chapa 21 (0.8 mm)	Chapa 20 (0.9 mm)	Chapa 18 (1.2 mm)	
1/2 x 1	6.18	6.95	9.27	10
3/4 x 1	7.68	8.66	11.55	10
3/4 x 1 1/4	8.29	9.35	12.47	10
3/4 x 1 3/4	10.33	11.65	15.54	10
1 x 1 1/2	10.36	11.65	15.54	10
1 x 2	12.51	14.07	18.76	6

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

TABLA XXVIII: Tubería Industrial Redonda

Dimensiones (pulg)	Peso por Unidad (Libras)			Tubos por Atado
	Chapa 21 (0.8 mm)	Chapa 20 (0.9 mm)	Chapa 18 (1.2 mm)	
1/2	3.22	3.62	4.82	25
5/8	4.70	5.29	7.06	20
3/4	5.04	5.67	7.56	15
7/8	5.89	6.62	8.83	15
1	6.62	7.45	9.94	10
1 1/4	8.31	9.35	12.47	10
1 1/2	9.99	11.27	15.03	5
1.9	12.66	14.24	18.99	5
5/8 abierta	4.70	5.29	-----	20

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

5.2.4.3.3.7. Tubería conduit

Se fabrica a partir de lámina rolada en caliente y se utiliza para la conducción de cables eléctricos. Tiene una longitud de 3 metros y posee roscas en ambos extremos. Utiliza una copla corrida no cónica llamada rosca tipo conduit. Se comercializa el tubo Conduit Galvanizado (Conduit HG) y tubo Conduit Negro, recubierto con pintura asfáltica.

A continuación una tabla con las medidas que se comercializan:

TABLA XXIX: Tubería conduit

Dimensiones	Espesor (pulg)	Libras por Unidad	Tubos por Atado
1/2	0.079	6.737	10
3/4	0.091	9.643	10
1	0.102	13.437	5
1 1/4	0.102	17.208	5
1 1/2	0.114	21.946	1
2	0.114	27.604	1
2 1/2	0.126	36.957	1
3	0.126	45.226	1
4	0.142	65.4.97	1

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

5.2.4.3.3.8. Tubería ducto

Para fabricar la tubería ducto se utiliza como materia prima lámina rolada en frío. Es tubería redonda de tipo industrial en chapa 20 (0.9mm) y es usada en el área eléctrica para la conducción de cables eléctricos.

Tiene una longitud de 3 metros y está recubierta con una pintura interior y exterior asfáltica aislante. No tiene rosca y utiliza una copla de presión llamada copla ducto.

A continuación una tabla con las medidas que se comercializan:

TABLA XXX: Tubería conduit

Dimensiones	Espesor (pulg)	Libras por Unidad	Tubos por Atado
1/2	0.079	2.646	25
3/4	0.091	3.477	15
1	0.102	4.331	10
1 1/4	0.102	5.636	10

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

5.2.4.3.4. Trefilados

5.2.4.3.4.1. Alambrón para trefilería

DESCRIPCION: Es un producto laminado en caliente de sección circular y de superficie lisa.

USOS: Para la fabricación de alambres por trefilado; los cuales son utilizados para hacer clavos, púas, etc.

NORMA TECNICA:

- Composición Química: SAE 1008.

PRESENTACION: En rollos de 440 kg, 750 kg y 200 kg.

Palanquilla 150 mm.

COMPOSICION QUIMICA EN LA CUCHARA (%):

C = 0.10 máx. Mn = 0.30/0.50 Si = 0.10 máx.

P = 0.040 máx. S = 0.050 máx.

DUCTIBILIDAD:

Muy buena.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS:

Límite de Fluencia (f_y) = 2300 - 3300 kg/cm².

Resistencia a la Tracción (R) = 3800 - 4800 kg/cm².

Alargamiento en 200 mm = 16 - 26 %

5.2.4.3.4.2. Clavos

Los clavos son fabricados con acero que cumple con las especificaciones de las normas internacionales SAE 1006 y 1008. Se producen dos tipos, tanto para lámina como para madera.

5.2.4.3.4.3. Clavo para lamina

El clavo para lámina tiene un recubrimiento especial con pintura a base de aluminio, se fabrica con una roldana para formar la cabeza de 20mm de diámetro por 0.95 mm de espesor. Se produce en una sola medida de 2 ½ pulgadas de largo, calibre 9. Es vendido al público en cajas de 50 libras.

TABLA XXXI: Clavo para lamina

Medida Largo Calibre	x Largo	Calibre	Diámetro nominal (mm)	Unidades por Libra
2 1/2 " X 9 "	2 1/2 "	9	3.759	55

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

5.2.4.3.4.4. Clavo para madera

Este tipo de clavo tiene cabeza plana y punta de diamante.

La presentación se en cajas de 50 libras.

A continuación una tabla con las características de este tipo de clavo por medida:

TABLA XXXII: Clavo para madera

Medidas de Clavo para Madera				
Descripción	Largo (pulg)	Calibre BWG	Diámetro Nominal (mm)	Unidades por Libra
6 x 4	6	4	6.05	13
7 x 3	7	2	7.12	8
8 x 2	8	2	7.12	7
1 x 16	1	16	1.65	945
1 1/4 x 16	1/4	16	1.65	755
1 1/2 x 15	1 1/2	15	1.83	540
1 1/2 x 14	1 1/2	14	2.11	415
2 x 13	2	13	2.41	230
2 x 12	2	12	2.77	190
2 1/2 x 12	2 1/2	12	2.77	150
2 1/2 x 10	2 1/2	10	3.40	95
3 x 10	3	10	3.40	80
3 x 9	3	9	3.76	65
4 x 8	4	8	4.19	40
4 x 6	4	6	5.16	25
5 x 6	5	6	5.16	20
5 x 5	5	5	5.59	45
6 x 5	6	5	5.59	16

Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

5.2.4.3.4.5. Alambre de amarre

Se fabrica utilizando alambre trefilado calibre 16 BWG, el cual es recocido en un horno eléctrico con el objetivo de darle la ductilidad requerida. La venta al público se hace en rollos de 1 quintal, los cuales tienen aproximadamente 2,700 metros de largo.

5.2.4.3.4.6. Alambre galvanizado

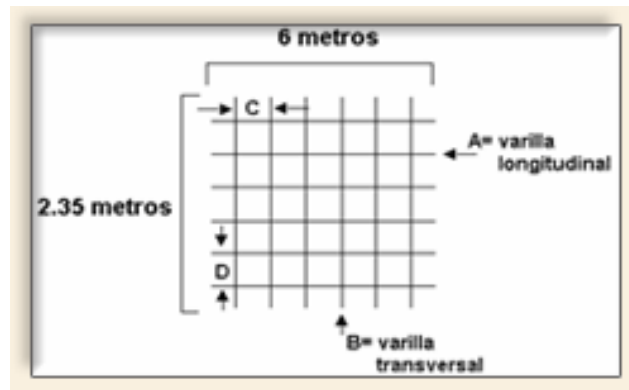
El alambre galvanizado posee un recubrimiento garantizado de zinc electrolítico de clase 1 (99.99% puro), manteniéndose dentro de un rango de 31 gramos por metro cuadrado para todos los calibres que se fabrican. La presentación se hace en rollos de 1 quintal.

5.2.4.3.4.7. Malla electrosoldada

La Malla Electrosoldada de cuadro 6"x 6" se compone de 16 varillas longitudinales y 40 varillas transversales, todas ellas de alta resistencia mecánica y unidas en todas sus intersecciones.

Sus principales usos son la fabricación de viviendas, tuberías de concreto, diques, túneles, concretos proyectados, canales de riego, armaduras inferiores y superiores de losas, pavimentos, escaleras, muros, etc.

FIGURA 26: Malla electrosoldada



Fuente: Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

La nomenclatura del pliego de la Malla Electrosoldada se explica a continuación:

- a. Varilla longitudinal
- b. Varilla transversal
- c. Espaciamiento en pulgadas entre varillas transversales
- d. Espaciamiento en pulgadas entre varillas longitudinales

5.2.5. Construcciones con tierra

Desde los inicios de la humanidad ya los primeros hombres construían con tierra, formando con ella paredes protectoras para tapar las entradas de sus cavernas. La tierra ha sido material de construcción usado en todos los lugares y en todos los tiempos. Los hombres se familiarizaron con sus características y aprendieron a mejorarlas agregándole algunas fibras vegetales, o a intercalar algunas ramas como refuerzos para consolidar sus resistencias. Una variedad del uso de la tierra en combinación con otros materiales, principalmente de origen vegetal, son las construcciones de bahareque. Luego, ya tratados por el fuego, aparecen los ladrillos, material inmejorable para uso en mucha clase de construcción.

En los tiempos modernos se ha reemplazado la tierra por otros materiales como el vidrio, el hierro y el concreto, en especial para las construcciones urbanas, quedando las construcciones de tierra sobretodo para las viviendas rurales, principalmente en los países del llamado tercer mundo. En una economía altamente tecnificada como la que se vive hoy, es natural que así suceda con las construcciones urbanas en donde los edificios de altura son mas numerosos y el espacio se usa mas intensivamente.

5.2.5.1. Adobe^{28, 26, 18}

Es un ladrillo hecho con barro que tiene, tradicionalmente, unos 25 x 35 x 10 cms, con un peso promedio de unos 14 kilos. La mezcla ideal contiene un 20% de arcilla y un 80% de arena. Estos materiales, mezclados con agua, adquieren una forma fluída que permite volcarla en formas de madera dotadas de las dimensiones citadas anteriormente. Cuando parte del agua se evapora, el ladrillo de adobe es entonces capaz de sostenerse por sí mismo. Es entonces cuando se remueve la forma, completándose su secado al sol en áreas libres disponibles para tal fin conocidas como "patios de secado".

Despues de varios días, para acelerar el secado, los ladrillos son movidos, apoyándoselos en una de sus caras laterales. Al cabo de unos pocos días están listos para ser apilados. La cura completa toma unos 30 días. Para ese momento el ladrillo de adobe es ya tan fuerte como el cemento.

El comportamiento del adobe está ligado a las condiciones y constitución del suelo del cual proviene. Un suelo excesivamente arcilloso exigirá la incorporación de una mayor proporción de otros componentes para

balancear su mayor capacidad de contracción-expansión que puede conducir a fisuras y deformaciones. La mejor forma práctica de conocer el comportamiento del suelo es realizar inicialmente la construcción de una pequeña muestra de adobes y observar su comportamiento, incorporando luego, de haber necesidad, los correctivos del caso.

Muchas veces se la considera a la paja como parte esencial del ladrillo de adobe. Esto no es cierto, los ladrillos de adobe contemporáneos no la usan. Su uso se creyó importante para dar rigidez al adobe, o evitar rajaduras al secarse. Lo cierto es que si la proporción de arcilla y arena es la correcta, no se la necesita. Si el adobe se raja al secarse es porque tiene mucha arcilla.

Ya en la construcción, los bloques de adobe se pegan entre sí utilizando mortero de barro.

El tradicional mortero de barro ha sido sustituido hoy día, en el caso de bloques de adobe estabilizados, por morteros de cal y cemento pero los morteros de cemento, al ser más fuertes que el adobe no estabilizado y presentar diferente comportamiento de expansión/contracción pueden contribuir a deteriorar el material de adobe utilizado.

Cuando el adobe se utiliza como muro de carga sus secciones aumentan considerablemente y las construcciones rara vez exceden los dos pisos de altura.

El adobe es un buen aislante térmico. Tiene la capacidad de absorber calor durante lapsos considerables de tiempo. En los países de cambio brusco de temperaturas entre el día y la noche, establece un promedio

de temperaturas extremas que resulta beneficioso para el habitante que aloja.

Utilizando dos o tres operadores en el uso de esta tecnología puede alcanzarse una producción diaria de entre 300 y 500 ladrillos de adobe.

5.2.5.1.1. Generalidades²⁶

TABLA XXXIII: Generalidades del abobe

Dónde adquirirlo	Se puede fabricar adrede para la construcción proyectada
Aplicaciones	Se emplea en cimientos, muros portantes de hasta dos plantas, cerramientos en estructuras de telar, en entrevigados de cubiertas planas y en bóvedas y cúpulas en regiones áridas y semiáridas.
Presentación	Las dimensiones del adobe varían de una región a otra. En función del tipo de tierra y el clima, se le añadirán los aditivos más adecuados. Los más usados son la paja y la cal, que proporcionan resistencia y cohesión.
Procedencia	Lo más recomendable es fabricarlo en el lugar de destino.
Propiedades	Densidad: 1200-1700 Kg/m ³ Resistencia a la compresión a los 28 días: 0.5 – 2 MN/m ² Resistencia a la tracción: buena Absorción de agua: 0-5% Resistencia al hielo: baja Exposición a la intemperie: reducida Coefficiente de conductividad: 0.46-0.81 w/m.K Retracción del secado: 0.2 – 1 mm/m Desfase diario: 10 – 12 h Resistencia al fuego: buena Paja más adecuada: La resultante de la trilla del centeno

	En zonas semiáridas es necesario realizar acabados superficiales exteriores (morteros de cal)
--	---

5.2.5.1.2. El Adobe semi-estabilizado

Está clasificado como una forma de ladrillo resistente a la humedad debido a la incorporación a su composición habitual de 3% a 5% de su peso en forma de agente estabilizador o de agente impermeabilizante. Este estabilizador posee gran importancia en la protección del bloque de adobe durante el proceso de curado. La emulsión asfáltica es el principal estabilizador debido a su facilidad de uso y bajo costo pero el añadir en vez de ella un 5 a 10 % de cemento portland produce el mismo resultado.

El agente estabilizador debe ser incorporado a la materia prima del adobe con anterioridad a su vaciado en moldes.

5.2.5.1.3. El Adobe estabilizado

Un adobe totalmente estabilizado debe limitar la proporción del agua que asimila al 4 % de su peso, requiriendo para ello la incorporación de una emulsión asfáltica que fluctúa entre el 6 y el 12 % de su peso total. Las paredes exteriores construidas con el adobe así estabilizado (y su mortero) no ameritan de protección adicional y pueden ser dejadas expuestas, sin requerir frisado alguno. De hecho, la insistencia en recubrir paredes con alguna forma de friso impermeabilizado incrementa sustancialmente el costo de la obra.

5.2.5.2. Tapial²⁸

En muchos países se conoce y utiliza desde hace siglos la tecnología de tierra apisonada bajo la denominación de tapial. Esta variante, que incorpora cal a la mezcla de barro, opera basándose en el uso de moldes modulares de madera denominados "tapiales" que permiten construir paños de paredes con material comprimido (ajustándose previamente al ancho deseado) y que luego se solapan en bordes angulados para lograr su unión definitiva. Tradicionalmente se identifican dos tipos de tapial: el tapial real que incorpora cal mezclada con barro y el tapial común que opera basada en barro únicamente. La materia prima utilizada en la construcción de tapial y, en general, de todos los sistemas constructivos que hacen uso de tierra, debe ser cuidadosamente cernida a objeto de eliminar impurezas vegetales que, al pudrirse, pueden originar cavidades y deformaciones en el interior del producto acabado.

5.2.5.2.1. Características del procedimiento constructivo

Las viviendas de tierra prensada poseen comúnmente paredes mucho más gruesas que las requeridas por otras tecnologías pudiendo alcanzar los 90 cms. La construcción de estos muros se realiza mediante el uso de formaletas de hierro o de madera colocadas sobre fundaciones de piedra o de concreto y aplicando gradualmente, unas sobre otras, capas de material húmedo de 15 a 20 cm de espesor. Se aplican entonces pisonos hidráulicos que comprimen cada capa reduciendo el volumen de humedad en un 25 a 30 %. Una vez que las capas de barro apisonado alcanzan la altura deseada, se retiran los moldes y se deja secar a la pared. Generalmente se añade a la mezcla como estabilizador el cemento

portland.

Debido a su mayor coherencia y consistencia la tecnología de tierra apisonada abarca un mayor espectro climático que la de adobe que debe evitar condiciones rigurosas de lluvias intensas y frecuentes.

5.2.5.2.2. Beneficios de la tierra prensada

La tierra prensada posee una muy elevada masa térmica (es decir, habilidad para almacenar calor). En los países de clima frío, esto constituye un invaluable recurso en los diseños de sistemas pasivos de energía solar. Durante el invierno, la pared actúa como un acumulador de energía calórica a los rayos del sol, que luego irradia al interior de la edificación compensando el incremento de frío en la temperatura ambiental y actuando como un regulador climático en la edificación. Durante el verano, el diseñador debe prever adecuada protección solar sobre las paredes (prolongación de quiebrasoles y otros recursos que impidan el recalentamiento excesivo de las paredes de la edificación). De existir una marcada caída de temperaturas nocturnas con relación a las diurnas las paredes "respirarán" hacia afuera el exceso de calor acumulado durante el día antes de que el mismo haya logrado penetrar al interior de la edificación.

5.2.5.2.3. Operaciones de acabado

La pared de tierra apisonada, una vez seca, puede ser revestida con friso exterior ("stucco") e interiormente enyesado ("plaster"), el cual puede ser coloreado o simplemente dejado al natural para reducir costos. Y aún este revestimiento puede ser diferido o eliminado.

5.2.5.3. Bajareque²⁸

La tecnología del bajareque ha sido durante siglo una de las más populares formas de construcción tradicional de bajo costo en el occidente del país.

En principio, el bahareque constituye una tecnología constructiva constituida por un entramado de cañas sobre el cual ha extendido manualmente una gruesa capa de barro. La vivienda así elaborada se apoya generalmente en el uso complementario de horcones y de techos de palma entretejida para brindar un refugio ambiental y climático a las clases más desposeídas. Esta tecnología utilizada consistentemente a través del tiempo cayó progresivamente en desuso durante la segunda mitad del siglo XX, desplazada por un número de importantes factores entre los cuales se destacan:

- a) Las campañas sanitarias orientadas a combatir condiciones de vida insalubres derivadas del deterioro interior de las viviendas que hace que sus paredes puedan convertirse en refugio de roedores y de insectos indeseables. También contribuyen a este cuadro de insalubridad el uso de pisos de tierra no tratada, que no necesariamente tiene que ver con el sistema pero que lo acompañan tradicionalmente.
- b) Inseguridad de protección de la vivienda contra el robo por vulnerabilidad del techo de palma.
- c) Riesgo de incendio por la misma razón.
- d) Inseguridad como refugio ante vientos fuertes, tormentas e inundaciones.

e) Y lo que, quizá es el factor decisivo: facilísimo de disponer de la solución "laminas de zinc" como forma rápida y fácil de erigir, muchas veces de procedencia gratuita. Esta antiestética costumbre ha poblado el paisaje de anárquicos despliegues "ferreteros", que han destruído el equilibrio plástico y ambiental y armónico y auténtico que proveían las originales construcciones de bahareque a lo largo de las costas tropicales y de otras regiones de climas más rigurosos.

Como se vé la tecnología del bahareque ha debido cargar con culpas ajenas las cuales no le son directamente atribuibles. Un último punto adverso a destacar resulta el poco atractivo presentado por una tecnología de labor intensiva para las empresas de construcción profesionales.

5.2.5.3.1. Descripción de la estructura

Es un sistema constructivo empleado en la edificación de viviendas (populares y de bajo costo) cuya estructura se compone básicamente de:

HORCONES: las cuales hacen las veces de columnas, son tradicionalmente troncos de árboles mas o menos rectos, los cuales en uno de sus extremos forman una Y (horqueta).

TRAVESAÑO: es un tronco de árbol, al igual que los horcones, con la única diferencia que sus dos extremos son lisos, el cual hace las veces de una viga.

ESTRUCTURA DE REFUERZO: se utiliza tradicionalmente caña silvestre de diferentes tipos, dependiendo del tipo de cada región o lugar.

MATERIAL DE RELLENO: básicamente, consiste en una mezcla de tierra, agua y material de refuerzo entre los que podemos encontrar "pashte" de trigo, paja, pino seco, viruta, etc; dependiendo de la mezcla tradicional de cada región.

5.2.5.3.2. Materiales básicos

El principal material que se emplea para la construcción por el método del bajareque es la madera. Se utiliza en el marco o bastidor, puertas, ventanas y techos y en otros casos, hasta para la elaboración de refuerzos de muros.

El tipo de madera que mas se emplea para este tipo de construcción es el encino y el pino, por ser materiales de rápida obtención y su gran aceptación en el área rural.

Para el refuerzo de muros se ha utilizado, tradicionalmente, la caña, de la cual se tiene una gran variedad entre ellas: caña brava, carrizo, caña de castilla, en algunos casos se sustituye dicho refuerzo estructural por madera trabajada en forma de reglas.

En el municipio de San Antonio Palopo se utiliza tanto el encino como el pino y material de refuerzo carrizo.

Para la unión o auto-fijación entre caña-horcon y horcon viga tradicionalmente se ha utilizado fibra de maguey, chojope, (bejuco),

cañuela(bejuco), tallo de plátano. Además, se han substituido dichos materiales por alambre de amarre, clavo, etc.

El material de relleno de muros es mezcla que consta de: tierra, agua y material de refuerzo en el relleno.

Para la construcción de techos, tradicionalmente, se emplean enrejillados de madera rustica de aproximadamente 2" de diámetro y sobre esta se coloca manojos de paja amarradas con fibra de maguey. En otros casos se ha substituido la paja por lámina de zinc.

En otras regiones se utiliza como techo la teja manila (San Marcos) la hoja de caña (Baja Verapaz), también calzonteria de madera y varas de tañil. En otras regiones se utiliza la teja de barro (Chimaltenango y sus colindancias).

5.2.5.4. El cob²⁸

Esta es una técnica que se practicó por miles de años en climas lluviosos y ventosos como en el Reino Unido hasta la aparición del ladrillo cocido en el siglo XIX.

Básicamente es la mezcla de tierra, arena, paja y agua, que al unirlos y pisotearlos se obtiene una masa cohesiva que se va colocando directamente con las manos formando la pared. A medida que se seca se pone duro como la roca. Luego es aconsejable dar un revoque para emparejar imperfecciones agregando solamente un poco de estiércol de caballo o savia de tuna a la misma mezcla más refinada. Finalmente se puede pintar con cal u otras pinturas naturales al agua o dejarlo así. No se deben utilizar pinturas impermeables al vapor de agua, ya que tapan

los poros. Estas paredes están vivas y son verdaderos secantes de la humedad interior. Durante el invierno, las paredes de cob acumulan el calor del sol que luego es liberado lentamente por la noche hacia el interior de la vivienda. En verano, es al revés.

El cob dura por siglos y tiene la ventaja de ser un material muy sano que respira, no tóxico, reciclable, que invita a la autoconstrucción y promueve la creatividad porque además de ser barato está al alcance de todos.

5.2.5.5. Bloques de tierra compactada²⁸

Es posible producir bloques de tierra apisonada, en vez de paredes y muros, utilizando la venerable sencilla y práctica tecnología. Esta máquina, portátil, que opera sin requerir alimentación de energía eléctrica alguna y que es accionada por un operador humano se ha expandido por el mundo, llegando a permitir una producción de tipo doméstico dada la sencillez de su fabricación.

5.2.5.5.1. Generalidades²⁶

TABLA XXXIV: generalidades del bloque de tierra compactada

Aplicaciones	Los bloques de tierra compactada se emplean en muros portantes.
Presentación	En función de las dimensiones del molde. Pueden emplearse estabilizadores como la paja, la cal, el estiércol, etc.
Procedencia	Es recomendable obtener la tierra en el lugar de consumo o en sus proximidades.
Propiedades	Resistencia a la compresión: - bloque sin refuerzo 19.27 kg/cm ²

	<ul style="list-style-type: none"> - bloque con refuerzo de paja 15.32 kg/cm² - bloque con refuerzo de pino 14.97 kg/cm² <p>Resistencia al corte:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bloque sin refuerzo 3.46 kg/cm² - bloque con refuerzo de paja 3.32 kg/cm² - bloque con refuerzo de pino 2.43 kg/cm²
Producción, transformación, recuperación	Consiste en construir bloques con tierra compactada a golpes, dentro de un molde de madera.

5.2.5.6. Bolsas de tierra²⁸

Una aplicación moderna de la tierra, aunque todavía en desarrollo, son las casas de bolsas de tierra, que mediante bolsas de polipropileno o textiles rellenas de tierra permiten construcciones de gran solidez. Esta técnica se trabaja como alternativa para mejorar los problemas de vivienda en los países más desfavorecidos.

Pese a sus muchas virtudes, no se debe caer en la idealización de la construcción con tierra. Algunas de sus desventajas pueden ser las necesidades de mano de obra y tiempo para la construcción, el mantenimiento anual para su correcta conservación, la necesidad de una buena distribución de las cargas si existen varios niveles, o sus limitaciones a la hora de aplicarla en entornos urbanos y densificados. Sin embargo, las cualidades de la tierra como material ecológico destacan en estos momentos en los que la edificación y las viviendas constituyen uno de los mayores causantes de impacto sobre el planeta.

Construir con tierra se basa en la simplicidad, en tratar de construir con el mínimo de mano de obra especializada y las mínimas herramientas.

En determinados proyectos de construcciones singulares o en viviendas unifamiliares es una opción inmejorable pues la tierra resulta atóxica, tiene baja energía incorporada y características óptimas para la climatización pasiva. Ya existen empresas en Estados Unidos especializadas en realizar casas de tierra.

Por otro lado, construir con tierra es idóneo en determinadas regiones faltas de otros recursos y donde históricamente ya se ha utilizado con éxito: además del cobijo de nuestros antepasados, construir casas con tierra es habitual en muchas zonas del planeta. En estos casos, se hace interesante mantener e impulsar las técnicas autóctonas de construcción y fomentar su aplicación, investigación y mejora.

En los países industrializados, además de utilizarse para rehabilitar antiguas construcciones, la tierra se ha aplicado con éxito en proyectos singulares de personas comprometidas con la autoconstrucción y el uso de materiales naturales.

5.3. Complementarios

5.3.1. Materiales derivados del petróleo¹³

5.3.1.1. Plástico

5.3.1.1.1. Composición y formulación

Están constituidos por una resina básica a la que se añaden compuestos químicos que modifican sus propiedades. Estas resinas son grandes moléculas formadas por otras más pequeñas. Los

componentes básicos químicos son carbono, hidrógeno, oxígeno, flúor y cloro que forman estructuras muy sencillas y por el calor, en presencia de un catalizador forman lo que llamamos polímeros.

5.3.1.1.2. Propiedades generales

Son de peso ligero, un buen aislante del calor, resistente a la corrosión atmosférica y fáciles de fabricar. Es el aislante eléctrico por excelencia ya que en baja frecuencia compite con la porcelana y la madera pero en alta frecuencia no tiene competencia. Algunos de ellos tienen grandes propiedades mecánicas.

5.3.1.1.3. Formas utilizadas en el suministro

Sólida en forma de grano y polvo. Compuestos de moldeo en forma de escamas, granos o polvo. Líquida empleada en recubrimientos de diversos materiales. Soluciones en forma de barnices y lacas. Emulsiones que son una mezcla en la que gotas de plástico están suspendidas en otro líquido. Las dispersiones son una combinación de una disolución y una emulsión modificadas son a las que se agregan sustancias para abaratarla, modificar resistencia, etc. Fibras en forma de tejidos (nylon) y películas.

5.3.1.1.4. Clasificación

- **Termoestables.**

Son los cuales en que el calor, con o sin presión, se endurecen formando una reacción química irreversible, es decir, no se ablandan al calentarlos nuevamente.

- **Termoplásticos.**

Se reblandecen y permanecen blandos con el calor, es decir, después de enfriados se pueden volver a moldear al someterlos a la acción del calor, conservando sus propiedades a lo largo de todos estos tratamientos.

- **Resinas o plásticos colados.**

Son resinas preparadas como líquidos que pueden echarse en moldes endureciéndose sólo por la acción del calor o a temperatura ambiente. Se les suele incorporar sustancias acelerantes.

- **Moldeados en frío.**

Son unos productos minerales y orgánicos, juntos o separados, que contienen ligantes resinosos.

- **Elastómeros.**

Son aquellas resinas que al vulcanizarse con productos como el azufre se obtienen materiales parecidos a la goma.

5.3.1.1.5. Métodos de transformación

- **Moldeo por extrusión.**

Se obtienen perfiles, barras, tubos, molduras y planchas. Se emplean casi exclusivamente en los plásticos termoplásticos.

Se carga el plástico por una tolva a un cilindro caliente que lo ablanda, mientras que mediante un tornillo sinfín llega a una boquilla con diferentes formas.

- **Moldeo por inyección.**

Generalmente se utiliza para moldear los plásticos termoplásticos. Introducimos el material en una cámara para calentarlo y posteriormente se inyecta a baja presión a un molde en el cual se enfría.

- **Moldeo por compresión.**

Generalmente se utiliza para moldear los plásticos termoplásticos. Introducimos el material en un molde calentándolo a una temperatura superior a 100 °C y en él se comprime dándole la forma del mismo. El calentamiento del molde se puede hacer también con caldeo electrónico y radiofrecuencia.

- **Moldeo por transferencia.**

Es semejante al de inyección. Se emplea mucho en termoestables. Se realiza en dos fases: en una primera, se plastifica o funde; en la segunda, se inyecta en el molde que queramos que adquiera su forma y en este se comprime.

- **Moldeo a chorro.**

Prácticamente es igual que el de inyección. Como diferencia es que se emplea casi exclusivamente en los termoestables. La presión ejercida es muy superior al de inyección.

- **Moldeo por soplado.**

Generalmente se utiliza en los termoestables. Calentamos una lámina que comprimimos por aire sobre las paredes de un molde. Según sea éste, obtendremos recipientes, flotadores, etc.

- **Moldeo en bolsa.**

La materia prima y el molde se introducen en una gran bolsa de goma de la cual se extrae el agua. Prácticamente ha desaparecido.

- **Laminado.**

Se realiza en dos fases: en una primera, impregnamos las resinas plásticas sobre una lámina de papel o tela formando una armadura y dejamos secar; en la segunda fase, colocamos más láminas sobre otras hasta alcanzar el grosor deseado. Se calientan y sobre diferentes tipos de moldes se comprimen obteniendo diferentes formas.

- **Moldeo en prensa caliente.**

Posteriormente a obtener láminas de plástico, se coloca sobre un soporte metálico caliente sobre el cual se ejecuta una presión.

- **Postformado.**

A veces, en los plásticos termoestables con un nuevo calentamiento se le puede dar una forma diferente. Es análogo al estampado de los metales.

- **Plásticos espumosos.**

Generalmente, para formar este tipo de plásticos se les adiciona bicarbonato sódico. Al calentarse se libera el dióxido de carbono produciéndose poros, disminución de la densidad. Por este motivo, resulta un aislante térmico de gran poder.

5.3.1.2. Poliestireno

El poliestireno (ps) es el tercer termoplástico de mayor uso debido a sus propiedades y a la facilidad de su fabricación. Posee baja densidad, estabilidad térmica y bajo costo. El hecho de ser rígido y quebradizo lo desfavorecen. Estas desventajas pueden remediarse copolimerizándolo con el acrilonitrilo (más resistencia a la tensión).

Es una resina clara y transparente con un amplio rango de puntos de fusión. Fluye fácilmente, lo que favorece su uso en el moldeo por inyección; posee buenas propiedades eléctricas, absorbe poca agua (buen aislante eléctrico), resiste moderadamente a los químicos, pero es atacado por los hidrocarburos aromáticos y los clorados. Se comercializa en tres diferentes formas y calidades:

De uso común, encuentra sus principales aplicaciones en los mercados de inyección y moldeo.

Poliestireno de impacto (alto, medio y bajo) que sustituye al de uso general cuando se desea mayor resistencia. Utilizada para fabricar electrodomésticos, juguetes y muebles.

Expandible se emplea en la fabricación de espuma de poliestireno que se utiliza en la producción de accesorios para la industria de empaques y aislamientos.

Los usos más comunes son:

Poliestireno de medio impacto: Vasos, cubiertos y platos descartables, empaques, juguetes.

Poliestireno de alto impacto: Electrodomésticos (radios, TV, licuadoras, teléfonos lavadoras), tacos para zapatos, juguetes.

Poliestireno cristal: piezas para cassettes, envases desechables, juguetes, electrodomésticos, difusores de luz, plafones.

Poliestireno Expandible: envases térmicos, construcción (aislamientos, tableros de cancelería, plafones, casetones, etc.).

5.3.1.3. Pinturas y lacas

Es una mezcla más o menos viscosa aplicada por extensión, proyección o inmersión en capas sobre una superficie. Al secarse da una película elástica y adherente que protege y colorea el elemento sobre el cual se aplica.

5.3.1.3.1. Componentes

Se pueden distinguir cuatro componentes principales en toda pintura, a saber el vehículo formado por el aglutinante y el disolvente, los pigmentos, las cargas neutras y los secativos.

- **Aglutinante.**

Es elemento que da fuerza y durabilidad. Puede ser sólido o un líquido de gran viscosidad. Tiene como finalidad formar la película adherente a la base y protegerla. Los aglutinantes pueden ser minerales, tales como el yeso, el cemento y la cal apagada; orgánicos como las ceras, parafinas, colas, gomas, caucho y colodión; grasos como el aceite de lino (linaza), aceite de soja, aceite de nuez y resinosos como la goma-laca, el betún de Judea, el copal y el dan-mar.

- **Disolvente.**

Es la parte volátil del vehículo. Facilita la dispersión o disolución del aglutinante y favorece la extensión sobre el elemento a pintar. Los principales disolventes son el agua, disolvente por antonomasia, el aguarrás (esencia de trementina) y el white spirit. El white spirit se obtiene de la destilación de una de las fracciones ligeras del petróleo empleándose en aceites secantes. Entre otros disolventes se utilizan el alcohol, la acetona y el benceno (bencina).

- **Secativos o secantes.**

Son materiales que se añaden a la pintura para catalizar o acelerar la oxidación y polimeración de los aceites vegetales absorbiendo el oxígeno del aire y disminuyendo el tiempo de secado. El litargirio (monóxido de plomo) es el principal secativo utilizado universalmente. Otros secantes son el óxido de manganeso, el óxido de cobalto y el óxido de cobre.

- **Pigmentos.**

Éstos dan tonalidades diferentes a la que tenían los objetos. Generalmente son pulverulentos e insolubles. Los pigmentos pueden ser naturales, que a su vez se dividen en minerales y orgánicos, y los artificiales, que se clasifican en primarios y secundarios con arreglo a su composición.

- **Cargas neutras o estabilizadores.**

Son materiales neutros respecto a los demás componentes. Su objeto es aumentar el volumen o la viscosidad. No son imprescindibles. Entre otros, algunos estabilizadores son el carbonato cálcico, el caolín, la mica y los polvos de talco.

5.3.1.3.2. Características de una buena pintura

- Buena resistencia a la intemperie y los agentes agresivos.
- Buena adherencia al soporte.
- Ser neutras respecto a los soportes.
- Estabilidad frente al calor.
- Mantenimiento del tono y el brillo del color.
- Buen rendimiento.
- Ser decorativo.

5.3.1.3.3. Pinturas al agua

5.3.1.3.3.1. Pintura al temple

- **Definición**

Es una pintura al agua, cuyo disolvente es por tanto, el agua, el aglutinante unas colas celulósicas o amiláceas y los pigmentos el sulfato cálcico (yeso) y el carbonato cálcico (blanco de España).

- **Propiedades**

Es barata, porosa (permeable) y de aspecto mate. Prácticamente no resiste el agua ni los lavados. Al repintar se tienen que eliminar las capas anteriores. No conviene estar expuestas a condensaciones de agua pues se forman manchas.

- **Empleo**

Se utiliza en interiores sobre yeso, aunque también se aplica sobre cemento.

- **Aplicación**

El temple liso se aplica con brocha, rodillo de lana o proyectada a pistola. El temple picado con rodillo de esponja y el gotelet proyectando gotas con una máquina y después terminando con un aplastado, rayado, arpillera o natural.

5.3.1.3.3.2. **Pintura al cemento**

- **Definición**

Es una pintura al agua. El ligante o aglutinante es el cemento blanco usándose como pigmentos componentes que resistan la alcalinidad. Se encuentra a la venta como polvo coloreado, el cual se mezcla con agua. Esta mezcla tiene una vida limitada.

- **Propiedades**

Tanto el secado como la formación de la pintura es similar al fraguado del cemento, por esto le favorece la humedad. Es absorbente y resistente a la intemperie.

- **Empleo**

Se emplea en exteriores sobre morteros de cemento o fábrica de ladrillo. Se debe emplear sobre soportes ásperos como los mencionados para aumentar su adherencia.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha, rodillo o pulverización.

5.3.1.3.3.3. Pintura a la cal

- **Definición**

Es una pintura al agua. La cal apagada (hidróxido de calcio) hace la función de ligante y de pigmento blanco.

- **Propiedades**

Tiene un acabado mate y es absorbente. Endurece con el tiempo por lo que la humedad y la lluvia favorece la carbonatación. Tiene una buena adherencia sobre soportes de mortero de cemento y cal, piedra y ladrillos porosos. Buenas propiedades nitroglúcidas. Es barata en cuanto al material pero la mano de obra es considerable ya que se debe manejar con precaución debido a su causticidad. Al repintar hay que dar capas muy gruesas pudiéndose producir cuarteamientos.

- **Empleo**

Se puede emplear sobre cualquier soporte exceptuando metales y madera.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha, rodillo o pulverización.

5.3.1.3.3.4. Pintura al silicato

- **Definición**

Es una pintura al agua. El ligante es una disolución acuosa de silicato de potasa o sosa y como pigmentos se utilizan blanco de zinc y otros elementos minerales que resistan la alcalinidad.

- **Propiedades**

Es una pintura muy dura capaz de resistir aceptablemente la intemperie y la alcalinidad del cemento. tiene un acabado mate y es absorbente. Al igual que la pintura a la cal, la materia prima es muy barata pero la manipulación cara. Se transporta por separado el pigmento del aglutinante debido que al mezclarse tiene una vida limitada. Se tiene dificultad para obtener tonalidades fuertes. Por su alcalinidad al aplicarla se debe proteger los ojos y la epidermis. En fachadas, cubrir el vidrio al pintar debido a la gran adherencia de esta pintura con el vidrio y el hierro galvanizado.

- **Empleo**

Se emplea en exteriores sobre cemento y sus derivados (hormigones), revoco de cal, piedra, ladrillo y vidrio. Nunca emplear sobre yeso.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha, rodillo o pulverización.

5.3.1.3.3.5. Pintura plastica

- **Definición**

Es una pintura al agua. El ligante es una resina plástica (vinílica o acrílica) y como pigmento se utiliza cualquiera de ellos que resista la alcalinidad.

- **Propiedades**

Tiene una buena adherencia. Resiste el frote y el lavado según la resina utilizada en mayor o menor medida. Se recomienda sobre hormigones y similares utilizar resinas acrílicas. El secado es

rápido. Las bajas temperaturas le perjudican sobremanera (mínimo 5-10°C).

- **Empleo**

Se emplea en exteriores e interiores sobre soportes de yeso, cemento y sus derivados. Se puede emplear sobre madera y metales previa imprimación.

- **Aplicación**

En acabados lisos, se aplicará con brocha, rodillo de lana o pistola. En acabados picados, rodillos de esponja y en acabados al gotelet, con máquina de gotas.

5.3.1.3.4. Pintura al oleo o al aceite

5.3.1.3.4.1. Pintura al aceite

- **Definición**

El aglutinante es un aceite vegetal secante, el más utilizado es el aceite de linaza. El disolvente utilizado es el aguarrás o el white spirit. Se emplean toda clase de pigmentos con la única condición que no sean resinas duras.

- **Propiedades**

Se siguen utilizando en soportes porosos como la madera. El acabado puede ser desde el tono mate al brillo de esmalte. Tienen una buena adherencia. Resisten el lavado. Tienen muchos inconvenientes por lo que los fabricantes los han combinado con resinas sintéticas o duras. Se pierde el brillo y el color a la intemperie. Se notan mucho las pinceladas de la brocha. En interiores, amarillea.

5.3.1.3.4.2. Esmalte graso

- **Definición**

Es una pintura al óleo. Está compuesta por aceites secantes mezclados con resinas duras naturales o sintéticas. Es una simple mezcla, en cambio en los sintéticos es una reacción química. El disolvente es aguarrás o white spirit.

- **Propiedades**

Tienen un buen brillo, aunque se pierde algo a la intemperie, una buena extensibilidad y un secado algo lento, más aun si se expone al frío. No resiste la alcalinidad. La tonalidad blanca no es muy pura (color hueso). Se obtienen buenos barnices transparentes.

- **Empleo**

Se emplea como vehículo para esmaltes de acabados interiores. El uso exterior está restringido pues por el aceite pierde el brillo al sol.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha o rodillo de esmaltar.

5.3.1.3.4.3. Esmalte sintético

- **Definición**

Es una pintura al óleo. Se obtiene por combinación química de aceites secantes y resinas duras. El disolvente es el aguarrás o el white spirit. Las resinas duras utilizadas son las alcílicas.

- **Propiedades**

Tienen un buen brillo, secan con rapidez y debido a su dureza resisten agentes químicos suaves. Los esmaltes alcílicos o sintéticos son los más apreciados en la actualidad.

- **Empleo**

Se emplean en atmósferas industriales. Para utilizarlos sobre paramentos de cemento conviene neutralizar éstos antes de la aplicación. Se emplean como protección de madera y metal en interiores y exteriores, como decoración, en barnices transparentes. Al usar el esmalte como imprimación anticorrosiva de deben preparar las superficies de los metales.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha, rodillo, pistola e inmersión.

5.3.1.3.5. Pintura de resinas

5.3.1.3.5.1. Pintura al clorocaucho

- **Definición**

Es una resina natural. Está formulada a base de un derivado clorado del caucho. Los disolventes son aromáticos, a veces mezclados con cargas. Los pigmentos y los aditivos serán los adecuados. Nunca utilizar aguarrás ni white spirit pues no son suficientemente fuertes.

- **Propiedades**

Resisten el agua, los agentes químicos y atmosféricos. Son impermeables y secan rápidamente. Tienen un brillo satinado y una buena adherencia incluso a superficies alcalinas. Resisten los ataques de la sosa y los ácidos y se reblandecen con las grasas y los aceites. Son sensibles a temperaturas superiores a 70°C.

- **Empleo**

Se emplea sobre superficies de hormigón y acero para marcas viales, piscinas y suelos de cemento.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha y rodillo. Si se aplica con pistola, los disolventes serán los adecuados para que no se formen hilos en la proyección. El rodillo no se recomienda.

5.3.1.3.5.2. Resina epoxi

- **Definición**

Es una resina natural. La resina se presenta en dos envases, uno de ellos con la resina epoxi y el otro con un catalizador o endurecedor. Los pigmentos pueden ir en cualquiera de los dos componentes. Los disolventes deben de ser muy especiales y de gran fuerza.

- **Propiedades**

Tienen buena resistencia a los agentes químicos, gran adherencia y dureza. Admiten la mezcla de alquitranes y betunes para proporcionar mayor impermeabilidad. Si se pintan metales se debe preparar perfectamente la superficie de contacto. Tienen la propiedad de descontaminación radiactiva. No se deben emplear a bajas temperaturas.

- **Empleo**

Se emplea para suelos comerciales e industriales (lavaderos, garajes, zonas expuestas a disolventes) debido a su gran dureza y en zonas de peligro radioactivo (hospitales y laboratorios).

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha, rodillo y pistola aerográfica.

5.3.1.3.5.3. Resina de poliéster, Pintura de poliuretano

- **Definición**

Existen dos tipos según los componentes utilizados: las primeras son de un solo componente catalizadas por la humedad y las segundas son de dos componentes, una resina de poliéster que se mezcla con un endurecedor o catalizador. De estos últimos pueden ser aromáticos con el inconveniente que amarillean y alifáticos que no amarillean. En general, los disolventes son especiales.

- **Propiedades**

Son de excelente dureza, buen brillo, gran resistencia a los agentes químicos y atmosféricos y decorativos utilizando el endurecedor que no amarillea. No necesitan temperatura adecuada para el curado. Con los alcoholes pueden formar burbujas. No se recomienda pintar en ambientes húmedos. La mezcla de los dos componentes tiene una vida limitada. Endurece con rapidez.

- **Empleo**

Se emplea cuando sea necesario belleza y brillo. Se emplea en barnices para parquet, en muebles. Si se utiliza sobre metales es necesario una imprimación previa. En ocasiones, se aplica una primera capa de pintura epoxi y posteriormente una final de poliuretano. En el caso de aplicar dos capas no esperar más de un día para la segunda capa.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha, rodillo y pistola. En talleres, con máquina de cortina.

5.3.1.3.6. Pinturas ignífugas e intumescentes

5.3.1.3.6.1. Pintura ignífuga e intumescente

- **Definición**

Son pinturas que no arden por acción de una llama y, a la vez, aíslan y retrasan la destrucción y propagación del incendio. La intumescencia es el efecto de esponjamiento celular provocado por el calor formando una capa que detiene la propagación de las llamas. Se formulan con resinas y la intumescencia la producen los aditivos.

- **Propiedades**

La principal propiedad es el aislamiento. La propiedad intumescente hace conservar mucho tiempo la capacidad de los elementos estructurales de soportar cargas. Todo viene estipulado según las normas UNE. Presenta figura de grano por lo que si queremos superficies muy lisas se aplican las ignífugas. Para dar una idea de la protección que crean estas pinturas consideremos este ejemplo: si se aplicase un grosor de 1 mm. sobre una viga de hierro la temperatura que alcanzaría la misma sometida durante 45 min. a llama intensa sería de 180°C; si no se protegiera, en 5 min. la viga llegaría a alcanzar los 550°C.

- **Empleo**

En capas finas se evita el fuego inicial y en capas gruesas de hasta 1 mm. se retrasa la deformación y posterior destrucción de la estructura.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha, rodillo y pulverización.

5.3.1.3.7. Otras pinturas

5.3.1.3.7.1. Pintura nitrocelulósica (laca)

- **Definición**

Se la denomina en el argot de la construcción como pintura al duco. Está formada por nitrocelulosa que lo proporciona flexibilidad. Pueden tener un brillo directo u otro tipo que necesita aditivos para conseguirlo. Se utilizan disolventes especiales (acetona).

- **Propiedades**

Dan películas duras y tenaces. Resisten el roce y la intemperie. Secan rápidamente pues es por evaporación. Si por cualquier motivo pierden brillo, lo recuperan puliéndolas. No se recomienda para madera en exteriores y en interiores hay que tener cuidado con la humedad.

- **Empleo**

Las lacas transparentes se utilizarán para barnizar madera en muebles y piezas. No se recomienda la utilización de las lacas en parquet. También se utilizará como revestimiento en superficies metálicas (coches, cabinas de ascensores, etc.).

- **Aplicación**

Se aplicará con pistola aerográfica.

5.3.1.3.7.2. Pinturas bituminosas

- **Definición**

Son disoluciones de alquitranes y breas. Se usa como disolvente white spirit y orgánicos. Se les puede añadir emulsiones acuosas, e incluso, pueden llevar resinas epoxi.

- **Propiedades**

Se aplican sobre madera, pero generalmente, se aplica sobre hormigones y metales. Tienen un color negro, muy oscuro. Son impermeables y resisten los álcalis, ácidos débiles y aceites. Como gran inconveniente se tiene que a la intemperie, sobre todo al sol, pierde muchas propiedades, apareciendo grietas.

- **Empleo**

Se emplea para proteger las humedades tanto en aceros como en hormigones, para proteger materiales enterrados y en juntas de todo tipo.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha, pistola, espátulas e inmersión, eligiendo el método según se aplique el producto en frío o en caliente.

5.3.1.3.7.3. Siliconas

- **Definición**

Son pinturas sintéticas que se forman con un elemento químico silíceo y átomos de oxígeno, hidrógeno y radicales orgánicos. Se suelen utilizar para dar efecto de martelé con propiedades hidrofugantes. Este efecto se consigue sobre materiales porosos como el ladrillo de hormigón a base de agua con siliconato sódico o disoluciones de resinas que contengan siliconas. Se suelen llamar barnices hidrófugos.

- **Propiedades**

Su principal propiedad es la hidrofugacidad. Un paramento pintado con silicona al mojarse no cambia de color debido a que el agua no penetra en él, es decir, que no penetra en los poros y resbala por la superficie de la pintura. Se debe impregnar abundantemente ya que una vez seca no se puede repetir el

tratamiento. Los barnices son transparentes presentando una superficie brillante.

- **Empleo**

Se emplea sobre cualquier superficie. En superficies de cemento y sus derivados hay que esperar que el hidróxido cálcico libre se carbonate por que reaccionaría con la silicona y anularía su efecto hidrofugante.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha o pistola.

5.3.1.3.7.4. Pinturas de aluminio

- **Definición**

Su aspecto es metálico. Se incorpora una pasta de aluminio molido llamado purpurina a un barniz graso. Es una pintura difícil de penetrar por la humedad y los rayos ultravioleta. Se usa como carga o para mezclar con pinturas bituminosas.

- **Propiedades**

Resisten la intemperie. Si la resina es fenólica se usa en ambientes marinos. Refleja los rayos infrarrojos del sol por lo que se emplea en tanques que se quiera evitar su calentamiento. Al flotar escamas en la superficie se pueden desprender al roce y manchar. Resisten el calor.

- **Empleo**

Se emplean para sellar los nudos de la madera y evitan así el sangrado de las resinas. Protegen las superficies metálicas sobre imprimación antioxidante.

- **Aplicación**

Se aplicará con brocha, rodillo y pistola.

5.3.1.3.7.5. Martelé

- **Definición**

Es un tipo de pintura al aluminio "non leafing" (que no produce escamas). Por acción de la silicona tiene un aspecto característico llamado martelé. Consiste en un dibujo irregular que se asemeje al que se obtiene al martillar una chapa de cobre o similar. Se puede secar al aire o con estufa. El disolvente debe ser de evaporación rápida pues si no, al formarse las gotas, pueden resbalar sobre todo en vertical.

- **Propiedades**

Tiene un color gris metálico y es decorativo. Hay que tener cuidado ya que al tener silicona puede alterar otras pinturas próximas. Disimula los defectos. Si no se aplican un mínimo de dos manos de pintura utilizar previamente una imprimación.

- **Empleo**

Generalmente se emplean como pinturas decorativas y protectoras. Los principales empleos son en puertas de ascensores y armarios metálicos de agua, luz e instalaciones.

- **Aplicación**

Se aplicará con pistola aerográfica; raramente con brocha. Para dar uniformidad al dibujo que se quiere representar, el pintor debe ser experto. Al aplicarlo, cuidar de tapar totalmente el objeto a pintar.

5.3.1.3.8. Revestimientos

Se dosifican según el aglutinante y el grosor de las cargas. Los revestimientos dan estanqueidad e impermeabilidad a los paramentos

exteriores y duración a la intemperie debido a su grosor. El gran inconveniente es que retienen el polvo y la suciedad ambiental.

- **Pastas plásticas**

Son pinturas de espesor grueso con cargas finas que se presentan en pastas espesas de fácil aplicación y los relieves suaves (picado, arpillera, gotelet y tirolesa). Se les suele dar un acabado con un barniz transparente para suavizar el tacto y facilitar la limpieza. Se pueden emplear en interiores y exteriores.

- **Revocos plásticos (Ispo-putz)**

Tienen cargas gruesas (granos de 2 mm. o superior) de tal forma que se destacan. También se presentan en forma de pastas y se aplica con pistolas especiales.

- **Marmolinas**

Llevan un aglutinante transparente e incoloro apreciándose los distintos tonos de los granos de mármol.

5.3.1.4. PVC⁹

El Policloruro de Vinilo, plástico llamado PVC, es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus materias primas provienen del petróleo (en un 43%) y de la sal común, recurso inagotable (en un 57%).

5.3.1.4.1. Principales características

Es ligero, químicamente inerte y completamente inocuo. Resistente al fuego y a la intemperie, es impermeable y aislante (térmico, eléctrico, acústico), de elevada transparencia, protege los alimentos, es económico, fácil de transformar y totalmente reciclable.

5.3.1.4.2. Obtención y usos

Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, cuya fabricación se realiza a partir del cloro y etileno. El PVC es un material termoplástico, es decir, que bajo la acción del calor se reblandece, y puede así moldearse fácilmente; al enfriarse recupera la consistencia inicial y conserva la nueva forma. Pero otra de sus muchas propiedades es su larga duración. Está pensado y formulado para durar. Por este motivo, el PVC es utilizado a nivel mundial en un 55% del total de su producción en la industria de la construcción. El 64% de las aplicaciones del PVC tienen una vida útil entre 15 y 100 años, y es esencialmente utilizado para la fabricación de tubos, ventanas, puertas, persianas, muebles, etc. Un 24% tiene una vida útil entre 2 y 15 años (utilizado para electrodomésticos, piezas de automóvil, mangueras, juguetes, etc.).

El resto -12%- es utilizado en aplicaciones de corta duración, como por ejemplo, botellas, tarros, film de embalaje, etc., y tiene una vida útil entre 0 y 2 años. La mitad de este último dato (un 6%) es utilizado para embalaje, razones por las que el PVC se encuentra en cantidades muy pequeñas en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU): tan sólo el 0,7%. Otras propiedades del PVC, que hacen que ocupe un lugar privilegiado dentro de los plásticos, son las siguientes: ligero; inerte y completamente inocuo; resistente al fuego (no propaga la llama); impermeable; aislante (térmico, eléctrico y acústico); resistente a la intemperie; de elevada transparencia; protector de alimentos y otros productos envasados, y de aplicaciones médicas (por ejemplo, tubos y bolsas para plasma; para transfusiones, suero y diálisis; guantes quirúrgicos), económico en cuanto a su relación calidad-precio; fácil de transformar (por

extrusión, inyección, calandrado, termo conformado, prensado, recubrimiento y moldeo de pastas); y es reciclable.

5.3.2. Materiales cerámicos y derivados¹³

5.3.2.1. Vidrio

Sustancia inorgánica de estado continuo similar al estado líquido que como consecuencia de haber sido enfriado desde un estado fundido ha alcanzado tan alto estado de viscosidad que puede considerarse a todos los efectos como un sólido.

Estado vítreo

Estado intermedio entre sólido y líquido. También es el de un fluido con viscosidad inversamente proporcional a la temperatura. A temperatura ambiente tienen apariencia de sólido pero sin estructura cristalina, por lo que se asemejan a los líquidos en su desorden estructural. Se pensó en crear el estado pero no ha sido aceptado. A veces se le denomina sólido no cristalino ya que carece de un punto de fusión fijo.

5.3.2.1.1. Composición

- **Elementos vitrificantes**

El más importante es el óxido de sílice en una proporción del 70-73% que se obtiene de arenas de sílice, tierras de infusión y cuarzo.

- **Elementos fundentes**

Sirve para rebajar el punto de fusión, disminuye su viscosidad y hay que tener especial cuidado en su porcentaje por que limitan la estabilidad del vidrio. Entre los más destacados fundentes se

encuentran los óxidos alcalinos (óxido de potasio y sodio) procedentes de los carbonatos.

- **Óxidos metálicos**

Se utilizan para incorporar propiedades especiales al vidrio.

5.3.2.1.2. Clases de vidrio

- **Vidrio de sílice**

Es el de mayor calidad. Se obtiene del óxido de silicio. Tiene el inconveniente de que en su fabricación se necesitan temperaturas superiores a 1700°C (excesivamente altas), por lo que resulta muy cara. Además tiene un corto margen entre la temperatura de reblandecimiento y la de fusión, por lo que es difícil de trabajar.

- **Vidrio soluble**

Se agregan al vidrio óxidos alcalinos reduciendo el punto de fusión a la mitad aproximadamente, debido a lo cual se obtiene un mayor intervalo entre la temperatura de reblandecimiento y fusión. Tiene el gran inconveniente de que es soluble en agua. Se emplea en pinturas.

- **Vidrio de cal**

Incorpora estabilizantes, normalmente cal. Tiene las mismas ventajas que el vidrio soluble pero además elimina la solubilidad.

- **Vidrio de borosilicato**

Se sustituyen los óxidos alcalinos por óxido de boro dándole características especiales como poca sensibilidad a los ataques químicos.

5.3.2.1.3. Propiedades

- **Físico mecánicas**

Densidad de 2.5 kg/cm^3 . Dureza de 6.5. Resistencia característica de 10.000 kp/cm^2 . Resistencia a flexión de 400 kp/cm^2 . Si se temple, las características aumentan de 3 a 5 veces. Tensión de trabajo en acristalamientos verticales de 200 kp/cm^2 , templado de 500 kp/cm^2 y armado de 150 kp/cm^2 . Tensión de trabajo en acristalamientos horizontales de 100 kp/cm^2 , templado de 250 kp/cm^2 y armado de 80 kp/cm^2 .

- **Químicas**

Resisten prácticamente a todas las reacciones menos a silicatos alcalinos y fosfatos. A veces, para aumentar esa resistencia, se descalcifica la superficie, bien con un tratamiento químico o cubriéndolo al fuego.

5.3.2.1.4. Preparación

Se trituran todas las materias primas para homogeneizar y proporcionar bien según el tipo de vidrio que queramos obtener.

- **Hornos**

El horno realiza tres funciones principales:

1. Fusión. Para obtener las materias primas que posteriormente se convertirán en vidrio con propiedades uniformes, en primer lugar se funden los compuestos alcalinos y luego la cal. A medida que se funde el sílice, la masa va perdiendo viscosidad. Los carbonatos y sulfatos desprenden gases, hacen borbotear la masa y contribuyen a homogeneizarle.

2. Afino. A 1250°C consideramos terminada la fusión, elevamos la temperatura, disminuye la viscosidad y se eliminan rápidamente las burbujas. Actualmente, se utiliza una tubería en el fondo para insuflar gases.

3. Enfriamiento. Se hace lentamente teniendo en cuenta que el moldeado sólo puede hacerse a cierto intervalo de temperatura denominada temperatura de trabajo.

Existen dos tipos de hornos:

- Intermitentes.

Pueden ser de crisoles que tienen la ventaja de poder fabricar diferentes vidrios y de balsa (en una sola superficie).

- Continuos.

Son parecidos a los de balsa. Mantenemos un nivel constante, por un lado se alimenta y por otro se extrae. Suelen tener una sección de refino, de gran producción, generalmente revestidos con refractario, de combustibles gaseosos y líquidos. Llevan instaladas cámaras recuperadoras y se les suele llamar hornos de cuba. También existen hornos eléctricos que utilizan el efecto "Voile"; en estado líquido se vuelve conductor de la electricidad y esta corriente eléctrica se conduce mediante unos electrodos.

- Sistemas de moldeo y fabricación

Soplado

Se realiza en dos fases: en una primera fase, se toma una porción de vidrio en estado pastoso y en la segunda, se le da forma. Para obtener vidrios planos se fabrica una gran ampolla y posteriormente se aplana.

Estirado

Se consiguen vidrios planos de superficies y espesores casi perfectos. Se extraen verticalmente a partir de baños de vidrio fundido, obteniendo una lámina rectangular continua que al salir y enfriarse se corta a la medida necesitada. El estirado tiene varios sistemas:

Sistema Colburn-Libbery Owens

Está ideado por Colburn y explotado por industrias Libbery Owens. La lámina nace directamente de la superficie del vidrio fundido, dos parejas de pequeños rodillos dentados refrigerados por agua elevan la lámina, se elimina el calor pasando a pantallas refrigeradas, pasa por un rodillo plegador que dobla al vidrio en ángulo recto y prosigue horizontalmente enfriándose lentamente. La velocidad de enfriado es inversamente proporcional al espesor que se quiera. Actualmente se emplea poco.

Sistema Fourcault

La lámina aparece por una rendija parcialmente sumergida de una pieza de material refractario llamado distribuidor. Debido a la presión del vidrio, penetra en la rendija, asciende y se inicia el estirado por un bastidor metálico que se sumerge en el vidrio. Se enfría lentamente. El avance vertical se hace por medio de unos rodillos y posteriormente se corta manual o mecánicamente la hoja. El espesor se consigue variando la velocidad de enfriamiento.

Sistema Pittsburgh

Análogo al Fourcault pero sin distribuidor. Existe una pieza refractaria sumergida llamada barra de estirado, que protege la hoja en su iniciación y permite más temperatura. Al salir del baño pasa a unos refrigeradores metálicos.

Colado

Se vierte el vidrio en moldes. Por su viscosidad, a veces no rellena los huecos, por lo que se somete a presión con un rodillo que a la vez extiende el material.

Laminado

Se alimenta el horno a nivel constante y cuando desborda la boca de salida se va evacuando vidrio fundido que al pasar por dos rodillos laminadores toma la forma de hoja continua que se enfría cuidadosamente para evitar tensiones. Después, se procede a la realización de los diferentes tratamientos del vidrio (pulido, cortado, embellecido, etc.). En general es el método empleado para vidrios armados o sin armar (impresos). Los vidrios impresos son translúcidos pudiendo llevar los rodillos grabados algún tipo de dibujo. Los vidrios armados llevan una malla metálica generalmente cuadrículada que se introduce en la hoja de vidrio en el proceso de laminación.

Flotado

Al salir del horno se vierte en una cuba. Esta cuba lleva unos registros que nos determinan el caudal de masa de vidrio que caerá sobre un baño de estaño extendiéndose en la superficie. Debido a su densidad, el vidrio flota y cuando se ha obtenido el espesor deseado se interrumpe la salida y se deja enfriar lentamente. Para que en

toda la masa haya la misma temperatura, la parte superior se calienta por cualquier procedimiento. Las hojas de vidrio obtenidas son totalmente uniformes en cuanto al espesor y paralelismo entre sus dos caras y libre de cualquier tipo de imperfección como las burbujas. La lámina obtenida se somete a un recocido para eliminar tensiones. Finalmente se corta con las medidas deseadas. Es el procedimiento idóneo para vidrios transparentes.

Prensado

Se llaman moldeados a piezas de vidrio obtenidas por prensado en moldes especiales. Existen los moldes dobles, formados por dos independientes soldados entre sí y los sencillos de un solo elemento.

Fabricación de fibra de vidrio

Generalmente se emplea vidrio de borosilicato y cal, así que por lo tanto carece de álcalis. Se obtienen por aire comprimido sobre boquillas de diferentes formas por las que sale el vidrio. A veces se enrollan sobre unas bobinas. Generalmente se impregnan de materias resinosas que sirven para aglomerar los filamentos, dando resistencias suficientes para admitir esfuerzos.

5.3.2.1.5. Tratamiento de los vidrios

5.3.2.1.5.1. Tratamientos

- **Recocido**

Al fundir las materias primas en el horno y al salir de éste, se deben someter a ciertos tratamientos generalmente de carácter térmico. El recocido se realiza para eliminar o repartir tensiones.

Consiste en elevar la temperatura del vidrio hasta casi el reblandecimiento y dejarla enfriar lentamente. Actualmente, se hace de forma continua sobre unas cintas transportadoras. Posteriormente, deben sufrir controles de calidad en los que se eliminan los que tengan defectos superficiales de acabados, de fusión (que pudiera quedar sin fundir algún material), ondulaciones o burbujas.

- **Temple**

Después de realizar el recocido, el vidrio se somete a un calentamiento que llega a los 700°C y un rápido enfriamiento que le confiere propiedades notables. La propiedad más característica es que al romperse se fragmenta en trozos pequeños.

Las lunas se cuelgan de un soporte por medio de unas pinzas. De esta forma, se introduce en el horno donde se produce el calentamiento. Por último, se suele enfriar por medio de aire para que éste resulte brusco. Aumenta considerablemente sus resistencias mecánicas. Si quisiéramos una luna curvada, al salir del horno se prensa sobre un soporte generalmente de madera forrada con fibra de vidrio tomando la forma deseada. Finalmente se enfría lentamente. Una vez templado no se puede taladrar.

5.3.2.1.5.2. Acabados

- **Desbastado**

Se realiza en las lunas. Se puede hacer por una o ambas caras. El abrasivo utilizado es arena húmeda. Resultan lunas no transparentes.

- **Pulido**

Se realiza con elementos de fieltro y abrasivos muy finos (óxido de hierro).

- **Decorado**

Se trata de convertir todo o parte del vidrio transparente en vidrio translúcido. Se puede realizar con chorro de arena o similar obteniendo grabados, esmerilados y tallados (estrías y rebajes).

- **Mateado**

Se puede realizar en una o ambas caras. Pasa de vidrio transparente a vidrio translúcido. Se realiza atacando la superficie con ácido clorhídrico. También se puede realizar proyectando polvo de corindón.

- **Espejos**

Se recubre una de las caras con una disolución amoniaca de nitrato de plata (afogue). Estas caras se protegen con una pintura anticorrosiva. Finalmente se pueden pintar decorativamente.

- **Muecas y taladros**

Trabajos que se realizan en los vidrios en función de su aplicación.

5.3.2.1.6. Vidrios comerciales

5.3.2.1.6.1. Vidrios transparentes

- **Vidrio sencillo**

Es incoloro, de espesor de 2 a 4 mm. Se fabrica por flotado. Las dimensiones máximas son 321 x 600 cm².

- **Luna incolora**

Es de caras completamente planas y paralelas. A través de ellos no existen deformaciones de imagen. Se obtienen por flotado. Se pueden cubrir grandes huecos y aíslan acústicamente. Las dimensiones varían según el espesor que puede llegar hasta 15 mm. y en superficies iguales que el vidrio sencillo (321 x 600 cm²). Finalmente, se realiza un pulido térmico. En el mercado se conoce como plani-lux.

- **Luna coloreada**

Se le añaden óxidos metálicos estables. Son igualmente de caras paralelas y no se deforman imágenes a través suyo. Reducen el paso de radiaciones infrarrojas y ultravioletas. Los colores se fabrican por flotado y por pulido térmico. Suelen ser grises, verdes o blancas. Las dimensiones varían en función del espesor que va de 4 a 10 mm. y de 321 x 600 cm².

- **Luna incolora con una de sus caras reflectante (Cool-Lite)**

La cara reflectante se obtiene mediante el depósito de una capa de silicio elemental por un procedimiento térmico. Su tonalidad es de plata por reflexión y bronce por transmisión. Las dimensiones máximas son de 321 x 600 cm² y 100 mm. de espesor.

- **Doble acristalamiento aislante (Climalit)**

Un conjunto formado por dos o más lunas separadas entre sí por cámaras de aire deshidratado, constituyendo un excelente aislamiento termo-acústico. Proporciona gran confort al eliminar el efecto de pared fría. Se conoce vulgarmente con el nombre comercial de Climalit. La separación entre lunas se define por un

perfil metálico en cuyo interior existe un producto desecante. Para lograr total estanqueidad se efectuará un doble sellado perimetral. Los sellados suelen ser de butilo y de silicona. El espesor de las cámaras varía de entre 6 y 10 mm. Cuando son de grandes dimensiones la luna se debe templar. Comercialmente, el Climalit tiene dos variantes: el formado por dos lunas y una cámara de aire y el formado por tres lunas y dos cámaras de aire.

- **Luna o vidrio templado (Securit)**

Pueden ser incoloros o coloreados. El templado se puede hacer vertical u horizontal. El nombre por el que se conoce estas lunas es el de Securit. Todas las muescas y taladros se deben realizar antes del templado sino se produciría su rotura. Si se tracciona se convierte en pequeños trozos. Los espesores van de 4 a 19 mm.

- **Vidrio estratificado de seguridad (Stadip)**

Se compone de dos o más lunas íntimamente unidas por interposición de láminas plásticas de burital de polivinilo. Este producto se ha elegido por sus grandes cualidades de resistencia y elasticidad. Se consigue por tratamientos térmicos y presión. Al final, tiene la misma transparencia. Si se rompe, los trozos quedan adheridos al plástico. Proporcionan gran seguridad a las personas incluyendo la entrada a través suyo (protección antibalas). Pueden recibir taladros, golpes y muescas. Pueden variar la naturaleza del mismo y espesor de los componentes. Los espesores van de 6 a 61 mm.

5.3.2.1.6.2. Vidrios translúcidos.

- **Vidrio traslúcido (Listral)**

Se obtiene por colada continua y posterior laminación. Los rodillos de laminación llevan los dos los dibujos a reproducir. El espesor varía normalmente entre 9 y 11 mm., y las dimensiones están en función del dibujo.

- **Vidrio translúcido armado**

Se obtiene por colada continua y posterior laminación con la peculiaridad de llevar en el interior de su masa una malla metálica soldada y de retícula cuadrada. El espesor entre 6 y 7 mm. y la superficie máxima es de 300 x 180 cm².

- **Vidrio translúcido templado (Clarit)**

Es conocido comercialmente como Clarit. Es un vidrio impreso con espesor de 9 a 11 mm. y que ha sido sometido a un tratamiento de templado.

- **Perfil de vidrio en forma de U (U-Glass)**

Es un vidrio translúcido obtenido por laminación. Puede ser o no armado. Se puede construir sin necesidad de estructuras metálicas y generalmente cada perfil lleva unos hilos de acero inoxidable que oscila entre 6 y 10 dependiendo de la longitud del perfil. Los hilos han de ir separados como mínimo 25 mm. La armadura además de aumentar la resistencia, impide en el caso de rotura el desprendimiento de trozos de vidrio; esto es de gran importancia cuando se fabrican paramentos horizontales tales como cubiertas. La longitud no sobrepasa los 6 mts.

- **Vidrio mateado**

Es un vidrio translúcido obtenido por laminación. Posteriormente se trata una de sus caras con polvo de corindón. Este tipo de vidrio difunde muy bien la luz. Los espesores van de 2.4 a 4 mm. y la dimensión máxima es de 180 x 150 cm².

- **Vidrio moldeado**

Es un vidrio translúcido de forma maciza o hueca y la obtención es por moldeo prensado en moldes con diferentes formas. Se utilizan tanto en paramentos verticales como horizontales y pueden ser:

- Sencillos.

Tienen un solo elemento macizo y se utilizan para tabiques verticales. Normalmente, no se superan los 6 m² y las dimensiones máximas son de 3 mts.

- Dobles.

Formados por dos que van soldados entre sí, es decir, se forma una pieza con cámara de aire. En tabiques verticales se llega a 20 m² y la dimensión máxima recomendada es de 5 mts.

- Pisables.

Las dimensiones dependen de los apoyos en la placa, por tipo de moldeo, por sobrecargas y del hueco a tapar. Generalmente suelen ir armados.

- **Fibra de vidrio**

Existen varios tipos de fieltros formados por fibras de vidrios. Estos van sobre un soporte de papel o de cartón obteniendo mayor o menor flexibilidad, llegando en algunos casos a ser rígidos. Se impregnan con resinas sintéticas y se pueden forrar

con distintos materiales. Se utiliza en construcción normalmente como aislante termo-acústico. A veces se inyecta en forma de espuma o barra, otras veces se construyen coquillas para aislamientos de tubos o conducciones. Estas suelen ser de sección cuadrada y rectangular. Uno de los usos es para aire acondicionado. También los paneles rígidos y fieltros se colocan en forjados, falsos techos y cámaras de aire. Cuando se utilizan en forma de conductos van ensambladas de forma machihembrada.

- **Vidrio celular**

Se obtiene por expansión en caliente quedando en el interior células de aire secas. Tiene una densidad muy pequeña, no son absorbentes y es un gran aislante termo-acústico. Además tiene una gran característica: incombustibilidad. Se comercializa en placas con unos espesores de 3 a 4 cm. y superficies que no superan los 40 cm. de largo.

5.3.2.2. Tejas

Pieza de barro cocido, de forma acanalada, que se usa para cubrir y resguardar los techos, armaduras o cubiertas de los edificios.

Para fabricarlas, cualquiera que sea su clase, se amasa la arcilla formando láminas delgadas que luego presan y moldean para ser cocidas finalmente, en los hornos o tejares, en un proceso semejante a la fabricación del ladrillo. Se les puede dar un acabado, tornando suave y brillante su superficie.

También existen tejas decorativas, con las cuales puede lograrse bonitos efectos artísticos.

Las tejas se clasifican en curvas o planas.

Las curvas pueden ser árabes y flamencas. Las árabes son acanaladas y las flamencas tienen sección en forma S.

Estas deben ser impermeables, resistentes y de sonido claro al chocarlas.

5.3.2.2.1. Ventajas de las tejas

1. Buena resistencia y durabilidad que confiere el material, además un diseño que le otorga distinción a su techo, haciéndolo atractivo estéticamente. Pero sin perder solidez.
2. Se puede encontrar en el mercado una gran variedad de colores.
3. Son impermeables, resisten a impactos, facilitan la aislación térmica y acústica.
4. Se evitan los gastos que acarrearán la losa, membranas y otros elementos, que día a día tienen que ir perfeccionándose para evitar las filtraciones, el frío y el calor...

El color rojo de las tejas, se obtiene por el óxido de hierro que contiene. La teja de color negro, se obtiene por retirar el óxido de hierro de la arcilla, y se agrega manganeso. Las de color verde, se obtienen porque se le agrega cobre a la masa.

5.3.2.3. Baldosas

Son ladrillos delgados, pulimentados, finos y duros que sirven para pavimentar patios, aceras y azoteas o recubrir techos.

Se fabrican con arcilla más pura y de tratamiento más delicado, a excepción de esto el proceso es igual al ladrillo.

Muchas veces se les aplica barniz o esmalte y se deja una cara áspera, con el fin de lograr mejor adherencia con los morteros.

Las baldosas de barro cocido, en los siglos X y XI, se adornaban con dibujos geométricos, heráldicos o históricos.

Generalmente son cuadradas, rectangulares o hexagonales.

5.3.2.4. Tubos

Pieza hueca, generalmente cilíndrica y abierta por ambos extremos, que se utiliza como medio de conducción.

Fabricados de arcilla, por el mismo proceso que el ladrillo, que son vitrificados para la conducción del agua, con el objetivo de obtener mejor impermeabilidad. Se aplican generalmente en aguas negras, aunque estos han sido sustituidos por los de PVC.

Para la conducción de gases es relegada a la ventilación de los aparatos sanitarios y salida de humo.

Además de estas funciones y usos, se fabrican piezas especiales con los tubos cerámicos, como son: codos, reducciones, tubos en forma T y en forma Y.

5.3.2.5. Azulejos

Son ladrillos pequeños, vidreados y de varios colores, llevando en una cara esmalte y en la otra mate, que es la cara que facilita la adhesión.

Su mayor aplicación es el revestimiento de baños y cocinas.

Estos deben ser de fácil adherencia, uniformes en sus dimensiones y colores y carentes de grietas.

5.3.2.6. Porcelana

Son una loza fina y transparente, cuya pasta se compone de caolín y feldespato.

Se diferencian de los demás productos cerámicos, por su transparencia y vitrificación. Se obtiene cociendo una arcilla blanca especial, llamada caolín, que proviene de la descomposición del feldespato.

Cuidadosamente, lavado y purificado, el caolín se moldea en un torno especial o en moldes antes de someterlo a una primera cochura. Luego se le aplica un esmalte particular y finalmente sufre la verdadera cochura, en hornos capaces de producir una temperatura muy elevada.

Las materias primas para la fabricación de la porcelana son: el caolín, que es un silicato de alúmina no fusible, y el petuntse, que es un feldespato fusible que contiene silicato de alúmina combinado con potasa, sosa, cal y bario.

5.3.2.6.1. Tipos de porcelana

La porcelana se divide en tres grupos: natural, artificial y fosfórica o de hueso.

- La natural, que también suele llamarse de pasta dura, está hecha de caolín y petuntse. El caolín no es fusible a ninguna temperatura, mientras que el petuntse, que contiene feldespato, silicato de alúmina y potasa a veces sosa, si es fusible. La fusión de éste produce una sustancia vítrea que mantiene el caolín compacto y hace a la porcelana dura, traslúcida y vidriosa. El lustre es la sustancia cristalina con la cual es bañada la pasta.

Esta se distingue por su blancura, dureza y completa vitrificación. Es tan dura que no puede ser rayada por el acero y los fluídos impregnantes ordinarios no la penetran.

- La porcelana artificial o porcelana blanda, fue obtenida de varias combinaciones de arcilla blanca con un silicato fusionable, o bien mezcla de vidrio, arena o porcelana rota. Esta no es tan blanca, el acero la raya y absorbe rápidamente aquellos fluídos.

- La fosfática o de hueso, es otro tipo de porcelana artificial, hecha a base de caolín, petuntse y una porción de huesos calcinados que contienen fosfato de calcio. Es menos blanca que la dura y más que la blanda, una especie de intermedia entre ambas.

Las porcelanas se emplean para la fabricación de vajillas, de todo tipo, algunas como las de China, Japón, Sevres, Limoges, que alcanzan un gran valor.

5.3.3. Productos manufacturados⁹

5.3.3.1. Pisos

5.3.3.1.1. Pisos blandos

Los pisos blandos se caracterizan por encontrarse en espacios interiores.

- **Vinisol:** estos pisos son generalmente aislantes de la electricidad, no son inflamables a pesar de ser derivados del petróleo; normalmente son de tráfico liviano y se instalan con pegante a una superficie lisa para evitar hendiduras o turupes; vienen de 1 a 3 mm de espesor y este depende del tráfico al que se vayan a someter. Las ventajas de este piso son las diversas texturas y tamaños, además de ser aislantes eléctricos y estáticos.
- **Alfombras:** se clasifican en dos grupos, las de polipropileno y las de nylon. Las de polipropileno son generalmente de tráfico pesado y vienen argolladas, normalmente el color viene de su fibra, se utilizan en bancos y oficinas en general. Las de nylon son para trabajo liviano y pesado pero a diferencia de las primeras, se

cortan y el color se le puede dar al gusto del cliente; también vienen argolladas y unas son de mayor espesor que otras ("altura de fibra" y densidad de esta por cm^3), lo que trae consigo una mayor duración.

- **Pisos de Madera:** estos pisos son de maderas especiales y se clasifican en dos: artesanal e industrial.
- **Artesanal:** vienen para ser instalados por tablas sobre listones que soportan la madera. Su instalación se hace incrustando tablón por tablón y asegurándolos con puntillas.
- **Industrial:** estos pisos vienen listos para ser instalados sobre superficies lisas ya que son traídos de fábrica en forma estándar.

5.3.3.1.2. Pisos duros

A diferencia de los pisos blandos, los duros se usan tanto en interiores como en espacios exteriores por su mayor resistencia.

- **Mármol:** esta es una piedra sacada de las diversas montañas del mundo, su clase y nombre dependen de la región de donde se extraen, por ejemplo el verde huila. En nuestro país se clasifican en tres tipos: travertino, mármol y granito. El travertino es un piso poroso y bello a la vista que se utiliza normalmente para tráfico pesado. El mármol es de tráfico medio muy bonito a la vista, normalmente brillante y que se puede pulir para reconstruir su brillo. El granito es una roca muy densa, bastante dura y perfecta para maniobrar en lugares donde se manejan ácidos y sustancias químicamente similares; es para tráfico pesado. Las diferencias entre los distintos mármoles son las vetas, los colores y los precios; el mármol negro es el más caro mientras los de tonos claros tienden a ser más económicos. El mármol se saca

de la montaña en forma de bloque, se pule y de una vez es cortado en tiras a la medida necesaria.

- **Piedra:** este es un material natural que viene en colores claros. Se utiliza pulida y sin pulir y se caracteriza por ser porosa. Su instalación se hace con mortero (cemento) en su superficie inferior sobre una superficie corrugada, es ideal en exteriores ya que resiste la erosión y no se descompone con facilidad.
- **Cerámica:** Las cerámicas están hechas de arcilla cubierta con una capa de esmalte de uno y medio mm de espesor en una de sus superficies, es de tráfico liviano, frágil y se puede conseguir en diversos tamaños; se instala sobre una superficie lisa para que no se quiebre, sin embargo su durabilidad no es tan grande.
- **Granito:** el granito es una roca de grano grueso, mediano o fino que se puede usar en varias etapas de una construcción, tales como cimientos (tamaños medianos), en concretos (machacado) y en pavimentos (grandes fragmentos) al igual que en adoquines.
- **Vibroprensados:** Esta es una mezcla de varios materiales que dan una característica especial al piso de acuerdo a los que se usen. En los fundidos en sitio usualmente se utiliza el retal de mármol o granito; este se funde en los pisos instalados con una mezcla de marmolina y cemento blanco. Después de secado es pulido hasta que el mármol dé el brillo que da por su naturaleza. Otro es la gravilla pulida, que son piedras de tipo muy similar, que en su instalación y fundición se mezclan con cemento gris y luego de secadas se barren y cepillan hasta lograr la textura requerida.
- **Tabletas:** en su fabricación se hacen de manera prensada con los trozos pequeños de mármol sobrante; se mezclan con cemento blanco y se prensan a 40 toneladas de presión, luego se ubican en moldes y son cortados a necesidad del usuario, casi siempre de 2 cm. de grosor. La otra tableta prensada es la de

piedra, solo que esta es más pesada y su superficie es en concreto y su espesor es de 3cm.

5.3.3.2. Adoquín

El Adoquín es una pieza modular precolada de cemento y arena que se utiliza como piso o pavimento, dándole al constructor una solución práctica y efectiva con las siguientes ventajas: variedad de formas, diferentes resistencias, facilidad de instalación, acceso a redes subterráneas, uso inmediato, combinación de colores, durable y antiderrapante.

Los adoquines se pueden clasificar en dos grupos: peatonales ó de tránsito ligero y de pavimento.

Es por ello que primero se deberá considerar:

- Su tipo de uso.
- Intensidad de tránsito (Peatonal o vehicular)
- Su capacidad de carga y la velocidad del tránsito.

Una vez definidos los puntos anteriores, podemos proponer el adoquín más adecuado tomando en cuenta el tipo de colocación, espesor, intención visual, forma del adoquín, resistencia y el color.

Para la colocación de adoquines es necesario buscar el apoyo tanto técnico como de calidad. Hay una gran variedad de adoquines; ya que al combinar formas, espesores, texturas, resistencias y colores, se pueden obtener más de 600 opciones para satisfacer cualquier requerimiento por especial que este sea.

5.3.3.2.1. Ventajas

Los pavimentos de adoquines poseen unas características particulares que se traducen en ventajas, sobre los otros tipos de pavimento, en varios aspectos específicos.

5.3.3.2.1.1. Ventajas debidas al proceso de construcción

Los adoquines que conforman la capa de rodadura son elementos prefabricados que llegan listos al lugar de la obra; por lo tanto su calidad se controla en fábrica.

La construcción de la capa de rodadura involucra, además de la colocación de los adoquines, esta el llenado de las juntas y la compactación de la capa terminada. Sin embargo el de adoquines es un pavimento de muy fácil terminado, donde no intervienen procesos térmicos ni químicos, ni períodos de espera.

Debido a la sencillez del proceso constructivo, toda la estructura del pavimento se puede construir y dar al servicio en un mismo día, por lo cual las interrupciones en el tráfico son mínimas y se logran economías en tiempo, equipos, materiales, costos financieros y sociales; además, como se trabaja con pequeñas zonas a la vez, cualquier área se puede adoquinar por etapas con lo cual no se altera ninguna economía de escala, cosa que sí ocurriría con otros tipos de pavimento; esto resulta especialmente útil para la pavimentación de unas cuantas vías cuando no se dispone de los recursos completos para acometer un plan a gran

escala; se puede, por lo tanto, adoquinar en varias etapas, a medida que se vayan produciendo las piezas o se obtengan los recursos.

Todos los procesos que intervienen en la construcción son sencillos y requieren de la utilización de poca maquinaria.

Como la labor de colocación de las piezas es fundamentalmente artesanal, se utiliza mano de obra, que, según se organice el proceso constructivo, se puede multiplicar al crear varias frentes de trabajo simultáneamente.

Como los adoquines son piezas pequeñas que no están unidas rígidamente unas con otras, el pavimento de adoquines se adapta a cualquier variación en el alineamiento horizontal o vertical de la vía sin necesidad de elaborar juntas de construcción.

5.3.3.2.1.2. Ventajas debidas al manejo del pavimento

La capa de rodadura es quizá el elemento más costoso de cualquier pavimento. Cuando se presenta una falla en los pavimentos o cuando hay que instalar o reparar las redes de servicios que van enterrados por la vía es indispensable retirar, y con esto destruir, las distintas capas del pavimento. Cuando se tiene un pavimento de adoquines la capa de rodadura es recuperable, pues como no van pegados unos con otros se pueden retirar y almacenar ordenadamente para reutilizarlos luego, en el mismo o en otro lugar, para la construcción de un nuevo pavimento. Esta propiedad es la que hace que el pavimento de adoquines sea especial, pues se puede reparar

fácilmente y por lo tanto resulta ideal para pavimentar aquellas vías que aún no tengan completas las redes de servicios.

El mantenimiento de los pavimentos de adoquines es muy simple. Además de la reparación de las zonas que por problemas constructivos puedan presentar algún hundimiento, el pavimento de adoquines sólo requiere que se le retire la vegetación que pueda aparecer dentro de las juntas, en aquellas zonas abandonadas o por donde no exista tráfico permanente, y del llenado, mediante barrido de arena fina, de las juntas que se hayan vaciado. Nunca requiere de sobrecapas para mantener un buen nivel de servicio.

5.3.3.2.1.3. Ventajas debidas a su apariencia

Por estar conformado por muchas piezas iguales el pavimento de adoquines induce un cierto sentido de orden en la vía. Además la existencia de las juntas entre los adoquines elimina la monotonía que presenta la superficie continua de los otros pavimentos.

Los adoquines se pueden fabricar de diferentes colores, adicionando colorantes minerales a la mezcla y utilizando cemento gris o cemento blanco. Con algunos adoquines de color diferente al del resto, se pueden incorporar en la superficie del pavimento señales y demarcaciones tan duraderas como éste, pero que a la vez pueden ser removidas fácilmente; se pueden colorear zonas para diferenciar su utilización o incorporar dibujos decorativos.

5.3.3.2.1.4. Ventajas relativas a la seguridad

Los pavimentos de adoquines se prestan para incorporar señales, o se pueden colocar en medio de otros pavimentos sirviendo como zonas de aviso para disminución de velocidad o zonas permanentes de velocidad restringida.

Además, por su rugosidad, los pavimentos de adoquines tienen una distancia de frenada menor que otros tipos de pavimentos, lo que se traduce en seguridad tanto para los peatones como para quienes se desplazan en los vehículos.

5.3.3.2.1.5. Ventajas relativas a la durabilidad

La calidad que se le exige a los adoquines de concreto garantiza su durabilidad, de manera que sean resistentes a la abrasión del tráfico de llantas, a la acción de la intemperie y al derrame de combustibles y aceites, lo que los hace ideales para la pavimentación de estacionamientos, estaciones de servicio, patios industriales, etc.

Un adoquín, como tal, tiene una vida casi ilimitada. Aunque la estructura del pavimento puede sufrir algún deterioro después de estar en servicio por 20 o más años, con una reparación menor el pavimento de adoquines puede alcanzar una vida útil de 40 años y los adoquines estar todavía en condiciones de servir por muchos más.

5.3.3.2.1.6. Ventajas relativas al costo de construcción

La construcción de un pavimento de adoquines no requiere de mano de obra especializada.

Para la fabricación de los adoquines y para la compactación del pavimento se utiliza maquinaria de la cual existe producción nacional de buena calidad y rendimiento.

Los materiales que se requieren para su construcción se consiguen en cualquier lugar del país y no consumen derivados del petróleo.

La competencia con otros tipos de pavimentos, desde el punto de vista de los costos, se debe plantear siempre, entre alternativas equivalentes, para unas determinadas condiciones locales de precios y disponibilidad de materiales y servicios. Nunca se debe generalizar.

El pavimento de adoquines de concreto, en la ciudad, resulta especialmente competitivo en vías de tráfico liviano y medio, donde pueden tener un costo inicial similar o inferior al de un pavimento equivalente de asfalto, aun sin tener en cuenta las ventajas adicionales ya enumeradas para el pavimento de adoquines; en un centro urbano pequeño o en zonas semi-rurales y rurales su costo es por lo general muy inferior al de otros tipos de pavimento.

Toda labor, desde la fabricación de los adoquines hasta el terminado del pavimento, puede incorporar gran cantidad de recursos comunitarios y mano de obra local. Esta hace que sea

realmente económica en planes de acción comunal o patrocinados por entidades de fomento.

5.3.3.2.2. Limitantes que presentan los pavimentos de adoquines

De la misma manera que con los otros tipos de pavimentos, la estructura del pavimento de adoquines se debe apartar del nivel freático del terreno.

Si la capa de adoquines queda bien colocada, sellada y compactada no debe perder su sello y su estabilidad ante la caída de lluvias, por copiosas que estas sean; pero nunca se debe poner a trabajar un pavimento de adoquines como canal colector de aguas, que pueda llegar a soportar corrientes voluminosas y rápidas tipo "arroyo".

Los pavimentos de adoquines nunca se deben someter a la acción de un chorro de agua a presión. Si esto se hace intencionalmente puede ocasionar la pérdida del sello de las juntas, por lo cual no se recomienda para zonas de lavado de automóviles.

Por estar compuesto por un gran número de piezas, el tráfico sobre un pavimento de adoquines genera más ruido que sobre los otros tipos de pavimentos, e induce mayor vibración al vehículo; por estas razones no es aconsejable para velocidades superiores a los 80 km/hora.

Lo expuesto anteriormente refleja la versatilidad, bondad y economía de la pavimentación con adoquines de concreto. La gran acogida que ha tenido este sistema de pavimentación durante los últimos años en

ciudades y poblaciones guatemaltecas y los resultados arrojados por los planes promovidos por diversas entidades, con innegables beneficios socio-económicos, son ejemplos más que suficientes, sobre los cuales se puede medir el verdadero alcance de la pavimentación de adoquines como generadora de bienestar para la comunidad.

5.3.3.3. Fibrocemento

El fibrocemento es una mezcla de cemento con polvo de amianto. Debido a las características de sus componentes, el fibrocemento resulta incombustible, resistente a la oxidación y mal conductor térmico. Los prefabricados que se construyen con el fibrocemento son muy variados: tubos, conducciones y canalones para todo tipo de canalizaciones, depósitos de muy diferente tamaños, planchas y paneles para revestimientos, etc.

5.3.3.3.1. Características

- Trabajabilidad

Se puede cortar, fácilmente, con cuchillo, sierra eléctrica, tijera eléctrica, disco, etc. También puede ser trabajado, perfilado, texturado, pintado y cubierto con un amplio rango de terminaciones. Además, es fácil de perforar, atornillar y clavar.

- Versatilidad

Los fibrocementos permiten la fabricación de revestimientos interiores o exteriores sobre elementos estructurales de albañilería armada, muros en combinación con estructuras metálicas de madera, ladrillos u hormigón.

- Resistencia y bajo peso

Por la velocidad y simplicidad del uso de los fibrocementos en obras, debido a su tipo de construcción en seco, disminuyen los tiempos al mínimo. Asimismo, gracias a la calidad de los componentes curados en autoclave, adquieren gran resistencia con una menor relación peso/resistencia que otros elementos.

- Durabilidad

La durabilidad de los fibrocementos se basa en la calidad de sus componentes y en la forma en que éstos reaccionan frente a condiciones adversas. Por ejemplo, son resistentes al fuego, al impacto del viento, lluvia, termitas y humedad del piso, entre otros. Por otra parte, los muros tienen una mayor duración al ser pintados, texturados o perfilados. (si se compara con la madera, mientras ésta debe ser pintada cada año, los fibrocementos lo hacen cada cinco años en promedio).

- Resistencia al impacto

Un fibrocemento de alta calidad cumple con éxito todas las pruebas de resistencia al impacto que el material mismo debe incorporar. Su espesor determina el grado de resistencia que tiene, desde 3,5 mm. hasta 8 mm y 12 mm. Las características básicas del fibrocemento incorporan la resistencia al impacto, producto de su flexibilidad.

- Resistencia al fuego

En el caso de la resistencia al fuego, la importancia de que los materiales no pierdan sus propiedades es fundamental, previniendo así la fisuración de los mismos. La resistencia que tiene la flexibilidad de los paneles fabricados con celulosa, se sustenta en que su

formulación con una adecuada cantidad de cemento es más estable ante la acción del fuego, tal y como lo avalan ensayos realizados.

Por el contrario, las planchas con un alto contenido de cemento o asbesto se quiebran ante la acción de la temperatura, dejando pasar el fuego. Las exigencias para contenerlo están basadas en el sistema constructivo incluyendo un aislante, como la lana mineral.

- Flexibilidad y Elasticidad

Las planchas de fibrocementos no sólo tienen que cumplir características de flexibilidad sino también, de elasticidad. Estas características son fundamentales para que la duración de la plancha sea la adecuada. Si la plancha no es flexible, puede que no sea resistente al impacto y que, además, deba cumplir con un nivel de elasticidad importante, pues es necesario que vuelva a su posición inicial, sin que se pierdan sus condiciones. Esto se logra con alta calidad de sus componentes y con una formulación adecuada en cada una de sus materias primas. Si la plancha es flexible, al ser clavada o atornillada, ésta no se fisura, fijándose de manera óptima a la estructura.

- Acabados

Se puede utilizar cualquier acabado resistente a la alcalinidad que tiene el cemento, así como un estuco normal, que permite el uso de una gran variedad de materiales para revestirlo.

- Fijación de las planchas

Las planchas de fibrocemento se fijan, básicamente, en dos tipos de estructuras: madera y metal. En el caso de la madera (de preferencia seca y bien calibrada) se recomienda utilizar clavos o tornillos para su

fijación, y para las estructuras metálicas, es recomendable el uso de tornillos.

Los tornillos dependen del espesor de las planchas. Si son delgadas, se pueden ocupar tornillos de cabeza de trompeta, y para aquellas de espesor superior a 6 mm, es preferible usar tornillos autoavellanantes para una mejor terminación.

- Junturas

Las planchas de fibrocementos sin asbesto, tienen muy baja variación de volumen frente a los cambios térmicos.

Los bajos niveles de cemento en sus compuestos, permiten que la movilidad nunca sea superior a un 0,5%, lo que resulta muy inferior al promedio que existe con las antiguas planchas de asbesto cemento.

5.3.3.4. Ferrocemento

El ferrocemento es un vocablo técnico que no debe confundirse con el hormigón armado ordinario. Puede definirse como un material compuesto que consta de una matriz hecha de mortero de cemento hidráulico reforzado con diversas capas de malla continua de acero. Los parámetros básicos que caracterizan el ferrocemento son la superficie de refuerzo, la fracción volumétrica del refuerzo, la superficie de mortero que cubre el refuerzo y la calidad relativamente alta del mortero.

El ferrocemento se comporta como hormigón armado en sus características de resistencia a las cargas, con la importante diferencia de que la formación de grietas se retrasa por la dispersión

del refuerzo en forma de finos metálicos por todo el mortero. Ello ofrece un evidente interés para la construcción de buques y se ha demostrado que cuando se produce una fisura ésta se distribuye en grietas muy finas, lo que, junto con la elevada alcalinidad de un mortero rico en cemento, frena la corrosión del acero de refuerzo.

Las principales ventajas del ferrocemento son su bajo costo, que exige una mano de obra poco especializada para la construcción del casco, y menos exigencias de mantenimiento, así como una mayor resistencia a la podredumbre y la corrosión que la madera y el acero.

El bajo costo mencionado se produce únicamente cuando puede aprovecharse la segunda ventaja que supone el empleo de mano de obra poco especializada, como, por ejemplo, en los países en desarrollo que disponen de muchos trabajadores no especializados y subempleados. En los países industriales, en los que la diferencia entre el costo de la mano de obra especializada y no especializada es muy pequeña, estas ventajas son menos evidentes o aún desaparecen, lo que viene a explicar el crecimiento relativamente lento del empleo del ferrocemento. Las ventajas para los países en desarrollo son más claras, y así se explica el interés de la FAO por este material.

Los principales inconvenientes del ferrocemento son su peso y su baja resistencia a los choques. Sin embargo, estos inconvenientes limitan únicamente la aplicación del material pero no le restan posibilidades. En el caso de embarcaciones de servicio de gran desplazamiento y más de 11 m de eslora total, el mayor peso del material tiene una importancia relativa; para una embarcación de esa clase y más de 15 m de eslora, el peso no será superior al de una

embarcación de acero de tamaño parecido. La mala resistencia a los choques puede subsanarse en gran medida en etapa de proyecto disponiendo la debida protección del casco.

Cabe preguntarse entonces, ¿por qué el ferrocemento no se ha utilizado con mayor profusión? Ello se debe principalmente a tres factores: la mala publicidad que se ha granjeado una construcción poco profesional; la publicación en los primeros años de afirmaciones exageradas en cuanto a la resistencia y bajo costo de la construcción, que en muchos casos no pudieron corroborarse; la gran subida de los costos de mano de obra en los países industrializados que ha repercutido en el empleo de un material que en general exige mucha mano de obra. De todas maneras, con el aumento hoy día del número de técnicas de construcción para el ferrocemento, el costo de la mano de obra no debería tener una importancia tan grande.

Aunque el ferrocemento nace junto con el concreto u hormigón armado hace más de un siglo, éste fue relegado durante mucho tiempo hasta 1943 que es retomado para la construcción de cascos de barcos; a partir de esa fecha la ingeniería ha sido testigo de los magníficos resultados y la enorme versatilidad al emplear el ferrocemento en diversas edificaciones de distintos países; un material que ha adquirido la misma importancia que la del concreto reforzado y el presforzado.

CONCLUSIONES

Es de suma importancia conocer los materiales de construcción con que se cuenta en Guatemala, así como sus propiedades para una apta aplicación de los mismos considerando las condiciones actuales. Existen muchos factores que marcaron el uso de los materiales en nuestro país como lo es el clima, la ubicación geográfica de las obras, la región, cultura y los índices socioeconómicos. Todos estos factores deben ser tomados en cuenta al momento de escoger un material de construcción, pues viviendo en un país con tan diversas situaciones, se hace necesario tomar en cuenta muchas variables. Entre las características que definen la aplicación actual de los materiales de construcción se tiene la resistencia, ya que ésta podrá determinar a qué tipo de estructura se puede aplicar determinado material, el método constructivo a utilizar y el tipo de edificación. Al igual, se pueden mencionar las propiedades acústicas, térmicas y permeabilidad, las cuales serán determinadas por el clima, ubicación geográfica y cultura. Otra característica importante es la durabilidad de los materiales, pues dependiendo de la ubicación de la obra y del clima, el material que se busque utilizar siempre debe procurar que la vida útil de la edificación sea razonable.

Debido a la cultura del guatemalteco, existen muchos materiales que por tradición, por características de puesta en obra y facilidad de manipuleo se han venido utilizando por años. El ingeniero del futuro enfrenta el desafío de comprender estos aspectos y las características de dichos materiales para su adecuado uso, relacionando los nuevos métodos constructivos con los materiales y métodos tradicionales del país.

Otro tipo de factores que se deben tomar en cuenta son: la seguridad, aspecto, higiene y comodidad, siendo éstos a considerar siempre, se deben

considerar sin importar en que región del país se vayan a utilizar. Por naturaleza, el ser humano busca su bienestar y la estética, es por esto que los factores antes mencionados juegan un importante papel. Sin ellos, el material no sería lo óptimo para el consumidor final.

Un factor que condiciona y agrupa a todos los anteriores es el económico. Este factor podría llevar a anular cualquiera de los antes mencionados y es por lo que en su consideración, el ingeniero juega un papel importante. Se debe buscar un equilibrio frente a todos los factores, pues el fin es optimizar el recurso y lograr, de alguna u otra manera, que se satisfagan todas las necesidades y requerimientos técnicos para los cuales será utilizado el material de construcción.

Como se puede deducir, existen muchas variables que un ingeniero debe considerar al momento de la aplicación de un material de construcción y es por esto que el estudio detallado de todas las características y propiedades de los materiales se convierte en un tema sumamente importante para el buen desempeño del ingeniero. En muchas ocasiones, las variables a considerar por un ingeniero están ya plasmadas en normas de materiales de construcción por lo que, al momento de la aplicación del material, se deben integrar, tanto los criterios que pueda tener el profesional de la ingeniería como las condiciones del medio antes expuestas con las normas.

RECOMENDACIONES

Luego de concluir con este trabajo, en el cual se describen los materiales de construcción, así como sus características y aplicaciones actuales en nuestro país, no esta de mas recomendar de manera resumida los aspectos siguientes.

Es conveniente para el mejor entendimiento del profesional realizar una recopilación actualizada de las normas de materiales de construcción utilizadas en Guatemala y, de esta manera, poder integrar la información técnica de las normas con la teoría de los materiales, los métodos constructivos y la cultura.

Es de importancia realizar una investigación que evalúe nuevas y óptimas estructuras a base de materiales de construcción utilizados en Guatemala, como el adobe, bajareque, bambú y otros más. Esto con el fin de formar una idea al profesional de las ventajas y limitaciones, a nivel estructural que pueden tener muchos de los materiales encontrados en nuestro país y que hasta el momento no se les aprovecha al máximo.

Sería de mucho interés y utilidad, un estudio de nuevos métodos de elaboración de los materiales de construcción manufacturados y sus ventajas frente a los métodos tradicionales de fabricación utilizados en Guatemala, ya que, esto daría, no solo al profesional si no que al inversionista, nuevas ideas de tecnificación, mejoramiento y optimización de procesos lo cual llevaría a producir mas y mejores materiales de construcción.

Con el fin de crear parámetros de los cuales los profesionales se puedan guiar, es conveniente la creación de especificaciones técnicas, como guía, para

normar el uso de los materiales de construcción tomando en cuenta sus propiedades y características así como, también, las condiciones del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUILAR Sahagun, Guillermo. **El hombre y los materiales** (de la serie la Ciencia para Todos). México: Fondo de Cultura Económica, 1997.
2. ANDRADE, Rodrigo, comp; Luna, Mercy, comp. **Informe final del Encuentro Regional Desastres Naturales y Planificación de los Asentamientos Humanos**. Quito, EC, 1989.
3. ASKELAND, Donald D.. **La Ciencia e Ingeniería de Materiales**. Edición 3. Editorial Ibero.
4. BARBARA Zatina, Fernando. **Materiales y Procedimientos de Construcción**. Editorial Herrero. S.A, México 1982.
5. BENNETT, R. H. & Hulbert, M. H.. **Clay Microstructure**. Published by D. Reidel Publishing Company, 1986.
6. BOLGER, R.. **Industrial Minerals in Pharmaceuticals**. Industrial Minerals, 1995.
7. BRESCIA, Frank y otros. **Química**. Nueva Editorial Interamericana S.A., México D.F., 1977.
8. CAILLIERE, S.; Hénin, S.; Rautureau, M.. **Minéralogie des argiles**. Ed. Mason, 1982.
9. CALEB, Hornbostel. **Materiales para construcción**. México: Limusa Noriega editores, 1999.
10. CELDRÁN, Pancraccio. **Historia de las cosas**. Madrid: Ediciones del Prado, 1995.

11. DAVIS , Harmer E.. Et. Al **Ensaye e inspección de los materiales en Ingeniería**. Traducción: Juan Moreno Cruz. México. CECSA, 1976.
12. DE Buen, Oscar. **Estructuras De Acero**. Ed. Limusa, 1998.
13. DE Cusa, Juan. **Revestimientos Y Materiales Cerámicos**. Ediciones Ceac.
14. DOVAL Montoya, M. (1990). **Bentonitas**. Textos Universitarios (C.S.I.C.), 1990.
15. DOVAL Montoya, M. García Romero, E., Luque Del Villar, J., Martin-Vivaldi Caballero, J. L. Y Rodas Gonzalez, M.. **Arcillas Industriales: Yacimientos y Aplicaciones**. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces, S. A. Madrid, 1991.
16. DOWGLING, Norman E.. **Mechanical Behaviour of Materials**. Prentice Hall, 1993.
17. ECOSUR. <http://www.ecosur.org/content/view/254/249/> . 2005.
18. **El Hombre y los Materiales**.
<http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/069/htm/elhombre.htm> . 1998.
19. **ENCICLOPEDIA de las Ciencias**. México: Editorial Cumbre S.A., 1987.
20. **ENSEÑANZA Práctica en la Construcción de la Vivienda**; Editorial Piedra Santa, Guatemala, 1976.
21. FAUNDEZ, Daniel y LUNA, Paloma. **Estudio Teórico – Experimental de las Propiedades de los Morteros de Junta para Albañilería**. Universidad de Santiago de Chile, 2002.
22. FIGUERAS, F.. **"Pillared Clays as Catalysis"**. Catal. Rev. Sci., 1988.
23. FOUSTER, Juan y otros.. **Química**. Universidad Nacional Abierta. Estudios Profesionales I. Ingeniería Industrial. Impresos Urbina. Caracas. Venezuela, 1985.

24. GALAN Huertos, E.. Palygorskita y sepiolita. **Textos Universitarios (C.S.I.C.)** 1990.
25. GANDARA Gaborit, José Luis. **Estrategias de planificación de los asentamientos humanos en caso de desastres naturales.** México, D.F, México, 1991.
26. GORCHACOB, G.I. **Materiales de Construcción.** Editorial Mir., Moscú, Rusia.
27. HIDALGO López, Oscar. **Manual de construcción con bambú.** Estudios técnicos colombianos, 1981.
28. IMCA A. C. . **Manual De Construcción.** Ed. Limusa.
29. IXCOLIN Oroxom, Carlos Armando. Tesis "Estado actual del bamboo como material de construcción en Guatemala". USAC, 1,999.
30. JANG, B.Z.. **Composición Avanzada de Polímeros.** 1994.
31. JOHNSTON, Bruce. **Diseño Básico De Estructuras De Acero.** Ed. Prentice Hall.
32. LAN Huertos, E.. **"Arcillas"** Textos Universitarios (C.S.I.C.), 1990.
33. LUNGO, Mario, comp. **Riesgos urbanos.** San Salvador, SV, 2002.
34. MC CORMAC, Jack. **Estructuras De Acero Método LRFD.** Ed. Alfaomega, 1995.
35. McCLURE ,F.A.. **El bambú como material de construcción.** Colombia, 1966.
36. MCCORMAC, Jack. **Diseño de Estructuras Metálicas.** Editorial Alfaomega.
37. METALIA (La Web Profesional de la Industria Metalúrgica) <http://www.metalia.es/quees.asp>. 2005.
38. MINKE, Gernot. **Construction manual for earthquake resistant houses built of earth.** Kassel, DE, 2001.
39. MOAS, Manuel. **Manual para la construcción de viviendas de un piso con bloques de concreto.** San José, CR, 1993.

40. MORALES, Ing. Jorge Mario. **"Materiales de Construcción"**, USAC, Guatemala.
41. ODIAN, George. **Principios de Polimerización**. 1991.
42. PRADO, Zoemia. **Asentamientos humanos temporales y definitivos**. Guatemala, GT.
43. RODRÍGUEZ Peña, Delfino. **Diseño Práctico de Estructuras de Acero**. Ed. Limusa, 2000.
44. SCHACKELFORD, James F.. **Introduction to Materials Science for Engineers**. Fourth Edition, Prentice Hall, 1996.

45. SERVICIO Nacional de Aprendizaje (SENA). **Construcciones menores sismo resistentes : Manual técnico de capacitación**. Bogotá, CO.
46. SERVICIO Nacional de Aprendizaje (SENA). **Construcciones sismo-resistentes : Manual para instructores**. Popayán, CO.
47. SMITH, Charles O.. **The Science of Engineering Materials**. Third edition, Prentice Hall, 1986.
48. SORIA, Ramiro. **Asentamientos humanos temporales y definitivos**. Guatemala, GT.
49. VAN VLACK, Lawrence H.. **Materiales para Ingeniería**. Cía Editorial Continental S.A.

ANEXOS

TABLA XXXV: Porcentajes de pruebas que caen dentro de los límites x-1

Numero de muestras menos 1 **	PORCENTAJE DE PRUEBAS QUE CAEN DENTRO DE LOS LIMITES X - 1										
	50	60	70	80	90	95	98	99			
	PROBABILIDADES DE CAER BAJO EL LIMITE INFERIOR										
	2 en 10	1.5 en 10	1 en 10	1 en 20	1 en 40	1 en 100	1 en 200				
1	1.000	1.376	1.9630	3.0780	6.3140	12.70600	31.821	63.657			
2	0.816	1.061	1.3860	1.8860	2.9200	4.30300	6.965	9.925			
3	0.765	0.978	1.2500	1.6380	2.3530	3.18200	4.541	5.841			
4	0.741	0.941	1.1900	1.5330	2.1320	2.77600	3.747	4.604			
5	0.727	0.92	1.1560	1.4760	2.0150	2.57100	3.365	4.032			
6	0.718	0.906	1.1340	1.4400	2.9430	2.44700	3.143	3.707			
7	0.711	0.896	1.1190	1.4150	1.8950	2.36500	2.998	3.499			
8	0.706	0.889	1.1080	1.3970	1.8600	2.30600	2.896	3.355			
9	0.703	0.883	1.1000	1.3830	1.8330	2.26200	2.821	3.250			
10	0.700	0.879	1.0930	1.3720	1.8120	2.22800	2.764	3.169			
15	0.691	0.866	1.0740	1.3410	1.7530	2.13100	2.602	2.947			
20	0.687	0.86	1.0640	1.3250	1.7250	2.08600	2.528	2.845			
25	0.684	0.856	1.0580	1.3160	1.7080	2.06000	2.485	2.787			
30	0.683	0.854	1.0550	1.3100	1.6970	2.04200	2.457	2.750			
0	0.674	0.842	1.0360	1.2820	1.6450	1.96000	2.326	2.576			

* Valores de t extraídos de tabla originalmente producida por Fisher y Yates, "Statistical Tables for Biological Agriculture and Medical Research".

** Grados de libertad.

TABLA XXXVI: Norma de control de concreto

		Clases de operación	Coeficiente de variación para diferente control estandar			
			Excelente	Bueno	Regular	Pobre
Variación general de pruebas	Control en obra	bajo 10.0	10.0 a 15.0	15.0 a 20.0	arriba 20.0	
	Control en lab.	bajo 5.0	5.0 a 7.0	7.0 a 10.0	arriba 10.0	
Variación centro de una misma marca	Control en obra	bajo 4	4.0 a 5	5.0 a 6	arriba 6	
	Control en lab.	bajo 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	arriba 5.0	

TABLA XXXVII: Coeficientes de variación del concreto correspondiente a distintos grados de control en la fabrica

Condiciones de mezclado y Colocación	Control	Coeficiente de variación (%)	F _{cr/f'c}
Agregados secos, granulometría precisa, relación exacta agua-cemento y temperatura controlada de curado. Su previsión continua	De laboratorio	5	1.07
		6	1.06
Pesado de todos los materiales, control de la granulometría y del agua tomando en cuenta la humedad de los agregados y el peso en grava y arena desplazada por el agua. Supervisión continua.	Excelente	7	1.1
		8	1.12
Pesado de todos los materiales, control de la granulometría y de la humedad de los agregados. Supervisión continua.	Alto	10	1.15
		12	1.18
Pesado de los agregados, control en la granulometría y del agua. Supervisión frecuente.	Muy bueno	13	1.2
		15	1.24
Pesado de los materiales. Contenido de agua verificado a menudo. Verificación de la trabajabilidad. Supervisión intermitente.	Bueno	16	1.26
		18	1.3
Proporcionamiento por volumen considerando el cambio en volumen de arena por humedad. Cemento pesado. Contenido de agua verificado en la mezcla. Supervisión intermitente.	Regular	20	1.34
		25	1.47
Proporcionamiento por volumen de todos los materiales. Poca ó ninguna supervisión.	Pobre	25	1.47

TABLA XXXVIII: Tamaño máximo de agregados recomendados para varios tipos de construcción

TAMANO MAXIMO DE AGREGADOS RECOMENDADOS PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCION

Dimensión máxima de la sección en cms.	Tamaño máximo del agregado en cms.			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas Altamente reforzadas	Losas con poco o sin refuerzo ref.
6.5 a 12.5	1.3 a 1.9	1.9	1.9 a 2.5	1.9 a 3.8
15 a 28	1.9 a 3.8	3.8	3.8	3.8 a 7.6
30 a 74	3.8 a 7.6	7.6	3.8 a 7.6	7.6
Mayor que 74	3.8 a 7.6	15.2	3.8 a 7.6	7.6 a 15.2

Tomado de referencia No. 6

TABLA XXXIX: Asentamientos usuales para varios tipos de construcción

ASENTAMIENTOS USUALES PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCION

Tipos de Construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de cimentación reforzados	12.5	5
Zapatas simples y muros para subestructura	10	2.5
Losas, vigas y muros reforzados	15	7.5
Columnas para edificios	15	7.5
Pavimentos	7.5	5
Construcciones masivas	7.5	2.5

Tomando de referencia No. 6

TABLA No. 6

DATOS PARA DISEÑO DE MEZCLAS (Calculados para 1 m3 de concreto fresco)*

Resistencia media requerida a los 28 días Kg./cm2	Tamaño máximo del agregado		Concentración de pasta		Agua en litros para los distintos asentamientos indicados en cm.						% de agregado fino Vol. Abs./Agr. Total			% aire				
	mm.	plg	W/C	C/W	0 a 2	2 a 5	5 a 10	10 a 15	2.2 - 2.6	2.6 - 2.9	2.9 - 3.2	M.F.	2.2 - 2.6	2.6 - 2.9	M.F.	2.2 - 2.6	2.6 - 2.9	M.F.
140	19.1	3/4	0.65	1.54	165	175	186	197	47	49	51	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	5
	25.4	1	0.65	1.54	157	165	173	181	44	46	48	4.4	4.4	4.5	4.4	4.5	4.5	4.6
	38.1	1 1/2	0.65	1.54	154	160	166	193	42	44	46	4	4	4.1	4	4.1	4.1	4.2
175	19.1	3/4	0.60	1.67	165	175	186	197	45	47	49	4.3	4.3	4.4	4.3	4.4	4.4	4.5
	25.4	1	0.60	1.67	157	165	173	181	42	44	46	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8	3.9	3.9
	37.1	1 1/2	0.60	1.67	154	160	166	193	40	42	44	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.5	3.5
210	19.1	3/4	0.56	1.79	164	171	184	195	44	46	48	3.6	3.6	3.7	3.6	3.7	3.8	3.8
	25.4	1	0.56	1.79	156	164	172	180	41	43	45	3	3	3.1	3	3.1	3.2	3.2
	38.1	1 1/2	0.56	1.79	154	160	166	191	39	41	43	2.6	2.6	2.7	2.6	2.7	2.8	2.8
246	19.1	3/4	0.52	1.92	164	174	184	195	42	44	46	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.3	3.3
	25.4	1	0.52	1.92	156	164	172	180	39	41	43	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	2.5	2.5
	38.1	1 1/2	0.52	1.92	154	160	166	191	37	39	41	1.9	1.9	2	1.9	2	2.1	2.1
281	19.1	3/4	0.49	2.04	162	172	182	193	40	42	44	2.6	2.6	2.7	2.6	2.7	2.8	2.8
	25.4	1	0.49	2.04	155	163	171	179	37	39	41	2	2	2.1	2	2.1	2.2	2.2
	38.1	1 1/2	0.49	2.04	154	160	166	189	35	37	39	1.6	1.6	1.7	1.6	1.7	1.8	1.8
316	19.1	3/4	0.46	2.17	162	172	182	193	38	40	42	2.4	2.4	2.5	2.4	2.5	2.6	2.6
	25.4	1	0.46	2.17	155	163	171	179	35	37	39	1.7	1.7	1.8	1.7	1.8	1.9	1.9
	38.1	1 1/2	0.46	2.17	154	160	166	189	33	35	37	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	1.6

CORRECCIONES DE VALORES PARA OTRAS CONDICIONES

Uso de piedrín	Uso de arena triturada	Uso de agentes adicionados
+ 10 kg. Agua	+ 5 kg. Agua	Al usar atrapador de aire u otro agente adicionado al concreto, deberá hacerse correcciones a los datos de la tabla y deberá consultarse al laboratorio.
+ 2.5 % agregado fino	2.2 % arena	
+ 0.5 % de aire		

*Tomando de referencia No. 6

TABLA XXXX: Datos para el diseño de mezclas