

## **CAPÍTULO 2**

### **2 - LOS MATERIALES COMPUESTOS:**

**2.1 - DEFINICIÓN.**

**2.2 - PROPIEDADES.**

**2.3 - COMPOSICIÓN.**

**2.4 - TIPOLOGÍAS.**



## INTRODUCCIÓN:

Hoy en día es posible que la segunda mitad del siglo XX y el siglo XXI sean considerados como la época de los nuevos materiales como lo son los productos sintéticos, las fibras artificiales, los cauchos sintéticos, los materiales compuestos y los adhesivos sintéticos, entre otros. Muchos de ellos son creados en los laboratorios mediante las modificaciones necesarias de los materiales ya existentes, o bien introduciendo otros nuevos para conseguir las propiedades necesarias. Todo este avance de tecnología actual no hubiera sido posible sin un cambio en la actitud de los ingenieros e investigadores ante los restos que suponían estas tecnologías.

Hace pocos años, para fabricar algo nuevo se basaban en los materiales que ya existían, con las limitaciones que presentaban, pero hoy en día, primero se estudian las propiedades que deben tener y luego, si no existe el material adecuado, se crea para que el resultado sea el óptimo.

Se podría decir que en estos últimos 100 años de historia, ha ido surgiendo una industria masiva que simboliza al siglo XX del mismo modo que el hierro y el acero caracterizaron en su día al siglo XIX.

Antes de comenzar a comentar los materiales más innovadores y en concreto los materiales compuestos o avanzados, se realiza un breve resumen de los existentes mediante una clasificación generalizada de los más importantes utilizados en la ingeniería, en función de su composición química y estructura, además de mencionar sus características más representativas. Estos son;

- Metales,
- Cerámicas,
- Polímeros,
- Compuestos.

- **Metales:** Los metales han desempeñado un papel importante en el desarrollo industrial con un gran número de aplicaciones. Los materiales metálicos están formados por elementos metálicos o una combinación de varios de ellos, que pueden mezclarse o disolverse. Entre sus propiedades se encuentra la de ser conductores de electricidad y calor, además de presentar una gran resistencia y capacidad de deformación.

- **Cerámicas:** Un material cerámico es un material inorgánico, no metálico, procesado o consolidado a altas temperaturas. Como propiedades presentan elevada dureza, resistencia al desgaste y a la abrasión, densidades medias, alta resistencia a la oxidación y a la corrosión, así como a las altas temperaturas. Su aumento en la producción se debe a las cada vez mejores propiedades conseguidas, al conocer mejor su naturaleza, estructura y procesos de obtención.

- **Polímeros:** Este grupo de materiales ha constituido uno de los mayores impactos industriales y de gran aplicación tecnológica en los últimos años, siendo los mayores consumidores de materiales poliméricos los sectores de envase y embalaje, de electricidad y electrónica, del automóvil, y como no, en el de la construcción. El progresivo y amplio uso de éstos ha llevado al desarrollo de *nuevos poliméricos técnicos*, por modificación de los ya existentes, que han hecho que las propiedades que poseen varíen mucho de unos a otros. Entre sus propiedades más significativas es que son materiales de baja densidad, se conforman rápidamente y relativamente baratos.

- **Compuestos:** Los materiales compuestos o composites, son por una parte materiales más nuevos y modernos, puede ser un ejemplo el material constituido por matriz epoxi y fibra de carbono utilizado en los aviones más avanzados. Pero, por otra parte, podemos decir que son materiales muy antiguos y ya existentes en nuestra naturaleza, como es el caso del adobe, formado por fibras de paja recubiertas por barro, o de la madera misma. Un material compuesto tiene dos puntos básicos e importantes que podemos resumir en; que consta de dos o más materiales físicamente distintos y separables mecánicamente y que las propiedades son superiores en algún aspecto específico a las propiedades de los componentes por separado.

Antes de continuar, se indica que se utilizará (MC) para referirse a los materiales compuestos o materiales compuestos avanzados, ya que va a ser en este punto donde se va a centrar la mayoría del trabajo.

## 2.1 - DEFINICIÓN.

Para los materiales compuestos o composites no hay una definición única, sin embargo, hay tres principios fundamentales a seguir:

- 1 - Consta de dos o más materiales físicamente distintos y separables mecánicamente.
- 2 - Pueden fabricarse mezclando los distintos materiales, de tal forma que la dispersión de un material en el otro pueda hacerse de manera controlada para alcanzar unas propiedades óptimas.
- 3 - Las propiedades son, en algún aspecto específico, superiores a las propiedades de los componentes por separado.

Podría definirse un material compuesto como un sistema que consta de dos o más materiales distintos, en forma y composición química, e insolubles entre sí, de manera que las propiedades resultantes del compuesto son superiores a los de los componentes considerados individualmente.

De acuerdo con esta definición, el hombre lleva utilizando materiales compuestos desde la edad antigua, cuando el adobe, formado por una mezcla de paja, arcilla y agua, se utilizaba en la construcción. En aquel entonces, ya se intuía que la unión adecuada de dos materiales distintos podía otorgar al material final unas propiedades mejoradas, reservando este término de material compuesto a aquellos materiales bifásicos fabricados expresamente para mejorar los valores de las propiedades que los materiales constituyentes presentan por separado.

Dentro del mundo de los materiales compuestos se incluyen los llamados materiales compuestos avanzados. Un material compuesto avanzado es aquél en el que el refuerzo está ventajosamente colocado en el interior de la sección para mejorar sus características, y además está instalado para optimizar el diseño y las propiedades mecánicas de la estructura para una previsible utilización a corto y largo plazo. Puede consistir en una mezcla de diferentes formas de refuerzo para superar tensiones internas, con un resultado final de una rigidez razonable y una elevada resistencia.

Se describe finalmente, que un material compuesto avanzado es aquel que está compuesto de las mismas materias primas que su material compuesto convencional correspondiente pero, por una adecuada colocación del refuerzo, desarrolla una sustancial mejora en su comportamiento. Por ejemplo, un panel de material compuesto avanzado, presenta un comportamiento equivalente a un panel de acero.

## 2.2 - PROPIEDADES.

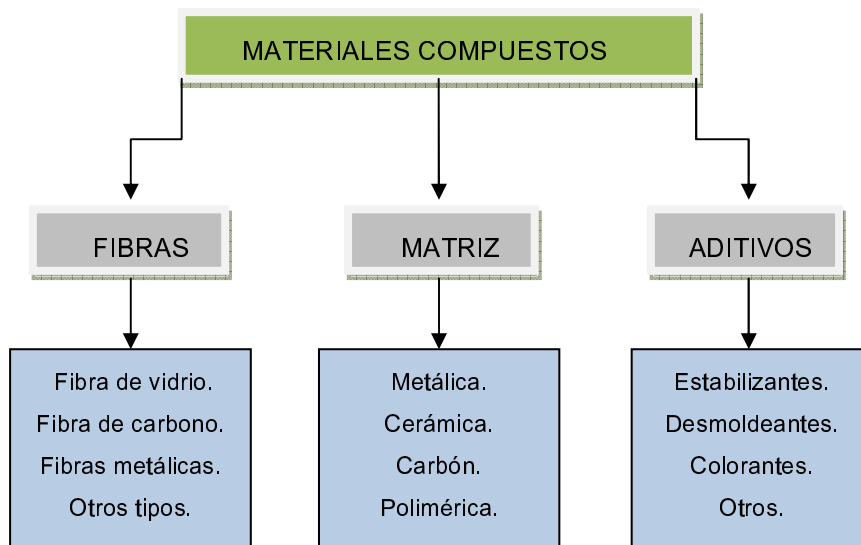
Los materiales compuestos en general, están formados a partir de matrices orgánicas, cerámicas o metálicas, y reforzados mediante fibras (orgánicas o inorgánicas), que consiguen unas altas prestaciones respecto a los materiales usados tradicionalmente. Por lo tanto, los llamados compuestos presentan mejores características físicas o químicas que las que poseerían sus materiales constituyentes por separado.

Dentro de las propiedades de mayor interés ingenieril, que resultan mejoradas con estos materiales, son;

- Propiedades mecánicas.
- Ligereza.
- Electromagnetismo.
- Conductividad eléctrica.
- Agentes químicos.
- Resistencia a la corrosión.
- Aislamiento térmico.
- Aislamiento acústico.
- Pigmentación.
- Acabados.
- Autolimpiables.

## 2.3 - COMPOSICIÓN.

En todo material compuesto se distinguen dos componentes fundamentales:



### - **MATRICES:**

La matriz se presenta en fase sólida, continua, homogénea e isótropa, actuando como ligante y dando estabilidad al compuesto, transfiriendo las cargas entre las fibras y manteniendo su alineación, protegiéndolas del deterioro mecánico y químico, además de evitar la propagación de las grietas.

Debe haber una buena adherencia entre matriz y fibras, para lo cual la matriz debe mojar la superficie de las fibras para lograr un contacto completo. Resumiendo la matriz debe cumplir las siguientes funciones:

- Dar estabilidad al conjunto, transfiriendo las cargas al refuerzo.
- Proteger al refuerzo del deterioro mecánico y químico.
- Evitar la propagación de grietas.

Para todo ello, se debe dar una buena adherencia entre la matriz y el refuerzo.

### • **Clasificación de matrices:**

Las matrices se pueden clasificar en:

a)- *Matriz orgánica (polimérica).* Dentro de estos los más utilizados:

- Material compuesto de matriz TERMOPLÁSTICA.
- Materiales compuestos de matriz TERMOESTABLE.

b)- *Matriz inorgánica:*

- Material compuesto de matriz METÁLICA.
- Material compuesto de matriz CERÁMICA.
- Materiales compuestos de matriz CARBON.

a) - Las matrices poliméricas, son las más usadas para la fabricación de composites, ya que los primeros materiales compuestos que se utilizaron fueron realizados con estas matrices y la denominación con la que se les conocía era de “plásticos reforzados” y no de materiales compuestos. Esta terminología del plástico reforzado que fue utilizada en principio, hoy en día se mantiene.

A las matrices poliméricas se les conoce con el nombre de RESINAS y poseen las características típicas de los polímeros. Cualquier polímero puede ser utilizado como matriz para los composites, aunque en la práctica real el número es limitado y su selección viene dada por factores como la facilidad de fabricación, la compatibilidad de fibras, las propiedades finales deseadas y el coste.

Los polímeros utilizados como matrices se pueden dividir en dos grupos, según su comportamiento con la temperatura, en **matrices termoplásticas y matrices termoestables**.

- **Matriz termoplástica**, dentro de este grupo los más utilizados son el nylon, policarbonato y el polipropileno. Entre sus principales ventajas e inconvenientes frente a las termoestables:

Ventajas:

- Bajo costo de las materias primas que son muy baratas. Una fabricación rápida y económica, con poco desperdicio y buen control de calidad.
- Muy resistentes a los daños, por su gran tenacidad y resistencia al impacto.
- Gran resistencia a la humedad.

Desventajas:

- Atacables por disolventes, menos cuanto más cristalino.
- Comportamiento variable en función de la temperatura.
- En general, las desventajas propias de los termoplásticos.

- **Matriz termoestable**, dentro de este grupo se incluyen los polímeros que dan lugar a las matrices orgánicas más resistentes. En composites de alto rendimiento, este tipo de resinas representa la clase más importante de los materiales utilizados. Las resinas más empleadas en este grupo son los poliésteres y los epoxis.

b) - Las matrices inorgánicas, son más resistentes y densas que las poliméricas. Las más utilizadas son la **metálica, la cerámica y la de carbono**.

- **Matriz metálica**. Los compuestos de este tipo de matriz vienen desarrollándose en los últimos años, cada vez más debido a las ventajas que presentan como, gran capacidad de temperatura, elevada conductividad térmica y eléctrica, buena resistencia al desgaste, además de sus excelentes propiedades mecánicas. La utilización de estos compuestos no se encuentra tan relacionada con la construcción, sino con aplicaciones aeroespaciales, extendiéndose cada vez más al sector industrial.



• **Matriz cerámica.** Este tipo de matrices y los compuestos resultantes, se caracterizan por su estabilidad a altas temperaturas, densidad media, baja resistencia a la tracción, a los choques térmicos y a impactos, debido a que no tienen deformación plástica antes de la rotura. Los refuerzos que les puedan ser aplicados pueden aumentar la resistencia y así corregir y mejorar la fragilidad, al igual que sus propiedades térmicas pueden variar. Otra de las propiedades de esta matriz es la resistencia a la oxidación y a los agentes químicos. Normalmente se utilizan para fabricar piezas que trabajen a altas temperaturas, como aislantes térmicos y en piezas que trabajen en medios oxidantes y corrosivos.

• **Matriz de carbono.** Los materiales compuestos que utilizan este tipo de matrices dan lugar a materiales de una gran estabilidad térmica y poco peso. Son excelentes frente al choque térmico, baja expansión y elevada resistencia al impacto y a la fatiga. Sus propiedades les sitúan en aplicaciones específicas como la aeroespacial.

Tabla 1: -Clasificación de las diferentes matrices utilizadas en M.C.:

MATRIZ	INORGÁNICAS	CEMENTO, GEOPOLÍMEROS, YESO, MATRICES CERÁMICAS, MATRICES METÁLICAS	
	ORGÁNICAS	TERMOESTABLES	EPOXI, VINILESTEER, POLIESTER, FENÓLICA, ESTERES CIANATO, BISMAMELEIMIDAS, PILIMIDAS, POLETTERAMIDA.
		TERMOSPLÁSTICAS	POLICLORURO DE VINILO (PVC), POLIETILENO (PE), POLIPROPILENO (PP), POLICARBONATO (PC), POLIMETACRILATO DE METILO (PMMA), ACETATO, POLIESTIRENO (PS), POLIOXIMETILENO (POM)POLIETERIMIDA, PET, NYLON, POLIAMIDA, PEEK, PEKK, PAI, PAS

#### - FIBRAS:

Las fibras son el elemento resistente o componente de refuerzo de un material compuesto. Se presenta en fase discontinua. Las primeras fibras utilizadas, destinadas a tejidos y vivienda, fueron de procedencia animal y vegetal. Hasta hace pocos años éstas eran las únicas que se utilizaban y por eso la aparición de las fibras sintéticas causó una revolución técnica y económica.

Posteriormente, aparecerán otra clase de fibras que tendrán una gran importancia a nivel industrial y también el sector de la construcción, estas son las fibras de *arámida*, *vidrio* y *carbono*. Estas tres fibras son las más empleadas para la fabricación de materiales compuestos, sin olvidar a las fibras *cerámicas* que también comienzan a utilizarse cada vez más.

• **Clasificación de las fibras:**

En lo que al material que las compone se refiere, los principales tipos de fibras utilizados como refuerzo son:

• **Fibra de arámida.**

Las fibras de arámida son unas fibras orgánicas y sintéticas. La fibra se fabrica mediante un proceso de extrusión e hilado. Las fibras de arámida más conocidas son Nomex® y Kevlar®, ambas forman parte de un grupo relativamente nuevo y potencialmente importante de fibras basado en la alta resistencia y rigidez. Entre las principales características del Kevlar se encuentran; la gran resistencia específica a la tracción, ligereza, estabilidad mecánica en el rango térmico. Es cinco veces más resistente que el acero y tiene un altísimo módulo de elasticidad, además de que no es atacado por reactivos químicos a diferencia de los metales.

• **Fibra de vidrio.**

La fibra de vidrio ha sido de las primeras fibras utilizadas. Se usa en un elevado porcentaje de los composites que se fabrican en la actualidad debido a las buenas características que proporciona. La principal características de estas fibras es la elevada resistencia que presentan y su bajo coste de fabricación, además de ser resistentes a la corrosión, ser poco inflamables y no conducir la electricidad. Entre sus desventajas esta el bajo módulo elástico, una resistencia a la fatiga relativamente baja y una elevada dureza. Las aplicaciones, que más adelante desarrollaré son muy numerosas (industria, marina, construcción, transporte, etc.). En función de la disposición, hay distintos tipos de fibras:

-**FIBRA-E**, es la fibra más común. Tiene el menor coste de todas las fibras de refuerzo disponibles, por lo que su uso en la industria de plásticos reforzados es muy amplio.

-**FIBRA-C**, se usa en aplicaciones químicas que requieren mayor resistencia a la corrosión por ácidos de la que proporciona la fibra E.

-**FIBRA-R**, de alta resistencia mecánica y módulo de elasticidad.

-**FIBRA-S**, es la más cara y tiene la más elevada tensión de rotura de todas ellas.

-**FIBRA-AR**, Este tipo de fibra es especial para hormigones o morteros. Es una fibra de alto módulo con una gran resistencia a la tracción. Es una fibra ideal para reforzar las matrices de cemento. Cuando las fibras son incorporadas a una mezcla cemento-arena, resulta un material ligero y similar al hormigón, en la que destacan las siguientes propiedades:

- Buena aptitud para reproducir detalles de superficie, ideal para imitar piedra o pizarra.
- Ligero, lo que reduce costos de transporte, además de puesta en obra e instalación.
- Aptitud para ser moldeable, siendo muy útil para renovación o restauración de inmuebles.
- Gran resistencia contra la propagación de fisuras.
- Reducción de carga en los edificios, lo que reduce los costes de estructura y cimentación.
- Bajo mantenimiento y muy buena resistencia al vandalismo.

- ***Fibra de carbono.***

Este tipo de fibras se desarrolla de una forma definitiva a penas unos 50 años. Se pueden obtener hoy en día fibras de carbono con una resistencia y rigidez que no poseen otros compuestos. Entre otra de sus características principales podríamos destacar su gran resistencia a la temperatura, además de destacar otras como específicas a tracción y compresión, conductor eléctrico y baja densidad. Se pueden utilizar con distintos tipos de matrices. Tienen la contrapartida de que su fabricación resulta cara por lo que su uso es limitado para aplicaciones aeronáuticas y espaciales, aunque han sido tenidas en cuenta para ser utilizadas en la industria de la construcción.

- ***Fibra de cerámica.***

Estas fibras normalmente de cuarzo o sílice son fibras flexibles, con muy bajo alargamiento y gran resistencia al choque térmico. Este tipo de fibras son apropiadas para reforzar principalmente matrices metálicas o cerámicas.

- **CARGAS Y ADITIVOS:**

Existen otro tipo de componentes como son las cargas y aditivos, que dotan a los materiales compuestos de características particulares para cada tipo de fabricación y aplicación, además de poder reducir el coste de los mismos.

## **2.4 - TIPOLOGÍAS.**

Dentro de un material compuesto se distinguen dos fases esenciales: la matriz o material aglutinante, que servirá de base para sustentar a la otra u otras partes de refuerzo, constituidas por el material o materiales reforzadores. En función de cómo sean y cómo estén distribuidas estas fases en composición, forma y distribución y en el tamaño de los distintos componentes, los materiales compuestos se pueden clasificar en tres categorías:

- 1- Materiales Compuestos reforzados con partículas.
- 2- Materiales Compuestos reforzados con fibras.
- 3- Materiales Compuestos estructurales laminados y paneles tipo sándwich.

### **2.4.1 - MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON PARTÍCULAS.**

Están compuestos por partículas de un material duro y frágil dispersas discreta y uniformemente, rodeadas por una matriz más blanda y dúctil.

Tipos: Compuestos endurecidos por dispersión o compuestos con partículas, propiamente dichos. En los compuestos endurecidos por dispersión, el tamaño de la partícula es muy pequeño. A temperaturas normales, estos compuestos no resultan más resistentes que las aleaciones, pero su resistencia disminuye inversamente con el aumento de la temperatura. Su resistencia a la termofluencia es superior a la de los metales y aleaciones.

Sus principales propiedades son:

La fase es generalmente un óxido duro y estable.

El agente debe tener propiedades físicas óptimas.

No deben reaccionar químicamente el agente y la fase.

Deben unirse correctamente los materiales.

### **2.4.2 - MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS.**

Los materiales compuestos reforzados con fibras, suelen tener como agente reforzante una fibra fuerte: de vidrio, cuarzo, kevlar, arámda, carbono, etc. Esta proporciona al material su fuerza a tracción, mientras que la matriz, que suele ser una resina, envuelve y liga las fibras, transfiriendo la carga de las fibras rotas a las intactas y entre las que no están alineadas con las líneas de tensión.

También, a menos que la matriz elegida sea especialmente flexible, evita el pandeo de las fibras por compresión. Algunos compuestos utilizan un agregado en lugar de una adición a las fibras.

Los materiales compuestos con fibras más usuales, son los llamados FRP, cuya abreviatura en inglés corresponde a (Fiber Reinforced Polymers). Los polímeros reforzados con fibras (FRP), son materiales compuestos que consisten en fibras de alta resistencia introducidos en una matriz de polímero. Las fibras en un compuesto de FRP son el elemento principal que soporta las cargas y presentan muy alta resistencia y rigidez cuando se somete a tensión.

Hay una gran variedad de tipos de fibras y resinas que pueden ser utilizados para crear un compuesto de FRP. Las fibras son seleccionadas en base a la resistencia, rigidez y durabilidad necesarias para la aplicación específica, y las resinas son seleccionadas basadas en el entorno que el material de FRP estará expuesto, a así como el método por el cual el FRP se está fabricando.

Entre las variadas posibilidades, los tipos de fibras que se utilizan normalmente en la industria de la construcción son de carbono, vidrio y arámda.

Los ingenieros aeroespaciales siempre han buscado formas de reducir el peso de las estructuras de aeronaves. Ellos desarrollaron el FRP como los materiales ligeros con la resistencia y la rigidez de los materiales que estaban acostumbrados. El automóvil, la defensa naval, y las industrias de artículos deportivos (por nombrar algunos) han adoptado desde entonces el uso de avanzados materiales compuestos en forma generalizada.

Los FRP se están utilizando ahora en nuestra industria para reforzar las estructuras existentes de hormigón como el deterioro en sí de la estructura, errores de diseño o construcción, cambios en el uso o carga, actualización sísmica, etc., proporcionando fuerza donde el hormigón es más débil en tensión.

Como más importantes cabe destacar:

- los CFRP (carbon fiber reinforced plastics) o MC. de fibra de carbono y matriz orgánica.
- los GFRP (glass fiber reinforced plastics) o M.C. de fibra de vidrio y matriz orgánica.

La presentación de los materiales compuestos reforzados con fibras se presentan en varios tipos y formas; barras, cables, elementos de anclaje, mallas, perfiles pultrusionados, etc.

Los extruidos de materiales compuestos son perfiles de sección constante formados por refuerzos de fibras continuas que pasan a través de un baño de resina que impregna a las fibras antes de que las fibras entren en un molde de conformado a temperatura de curado de la fibra. Los perfiles obtiene la forma final al curar con el calor del molde, que hace que la resina solidifique bajo la forma deseada.

Hoy en día existen numerosas empresas encargadas de la fabricación de perfiles extruidos en de materiales compuestos, especialmente en fibra de vidrio. Esta técnica ofrece fabricación de perfiles estándares, redondos, cuadrados, tubos, etc. pero también formas más complejas diseñadas a la medida de la aplicación, y con los acabados deseados.

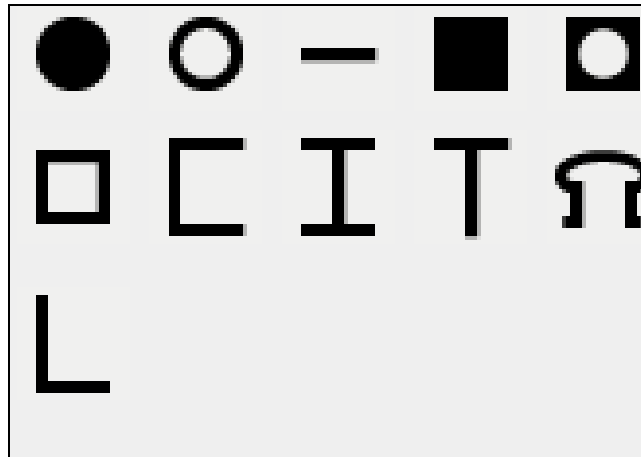


Figura 10: Tipos de perfiles en materiales compuestos más comunes.

### **2.4.3 - MATERIALES COMPUESTOS: LAMINADOS Y TIPO SÁNDWICH.**

Estos materiales están formados tanto por composites, como por materiales sencillos y sus propiedades dependen fundamentalmente de la geometría y de su diseño. Los más abundantes son los laminados y los llamados *paneles sándwich*.

Los laminados están formados por paneles unidos entre sí por algún tipo de adhesivo u otra unión. Lo más usual es que cada lámina esté reforzada con fibras y tenga una dirección preferente, más resistente a los esfuerzos, de esta manera obtenemos un material isótropo.

Los paneles sándwich consisten en dos láminas exteriores de elevada dureza y resistencia, normalmente son plásticos reforzados, aluminio, etc., separadas por un material menos denso y menos resistente, como polímeros espumosos, cauchos sintéticos, madera balsa o cementos inorgánicos).

Existen dos configuraciones de núcleos:

- Núcleos de nido de abeja.
- Núcleos de espuma.

Dentro de los núcleos de nido de abeja, se pueden clasificar en función de:

- Su tipo de celdilla, hexagonal, rectangular o en seta.
- En función del material, metálicos, no metálicos.

En función del material, dentro de los núcleos metálicos, se suele emplear aluminio, acero, titanio y aleaciones de alta resistencia. Los núcleos no metálicos suelen estar fabricados en “papel” de aramida, vidrio, carbono, etc.