

# Elementos de la forma, la estructura y el movimiento

Andrés Valencia Estobar

Continuando con la temática iniciada en el artículo "Forma, estructura y movimiento" en el cual se plantearon los referentes más importantes en cuanto a los orígenes de estos tres conceptos, se busca con esta segunda parte presentar un texto que permita identificar y definir los principales elementos que componen el estudio de las relaciones funcionales que se construyen alrededor de la morfología en torno a las aplicaciones estructurales y dinámicas dentro de un proyecto de diseño industrial. El desarrollo del tema se divide en dos grandes grupos, la función estructural y la función dinámica, y cada una de ellas se estudia desde cuatro parámetros: las variables físicas, la morfología, los materiales y los fenómenos físicos asociados a la función. Se espera finalizar el tratado de este tema con un tercer artículo en el que se planteen las relaciones específicas que se dan entre los elementos mencionados en este texto. Los temas tratados en el presente artículo hacen parte de los resultados del proyecto de investigación "Desarrollo relacional entre la morfología y la función técnica mecánica" llevado a cabo por la Línea de Investigación en Morfología Experimental del Grupo de Estudios en Diseño (GED) de la Facultad de Diseño de la Universidad Pontificia Bolivariana.

## I. LA FUNCIÓN ESTRUCTURAL

### 1.1 DESDE LAS VARIABLES FÍSICAS

En cuanto a las variables físicas se tiene que desde lo estructural se hacen presentes dos elementos básicos: las cargas y la temperatura. Con las primeras se hace referencia a las fuerzas y a los momentos que se aplican sobre el objeto y con la segunda se tiene en cuenta especialmente el cambio de temperatura que pueda sufrir un cuerpo en su entorno de uso.

Las fuerzas representan aquella acción que ejerce un cuerpo sobre otro, ya sea por un contacto directo (fuerzas de contacto) o por acción de las atracciones que se presentan, unas en función de las masas de los cuerpos (gravedad); y otras, a partir de fenómenos como el magnetismo. La figura 1 muestra una persona acostada en una hamaca que se encuentra amarrada a dos árboles. En este caso se puede evidenciar la presencia de fuerzas tanto de contacto como de gravedad. La persona es atraída al centro de la tierra con una fuerza que es proporcional a su masa y a la aceleración de la gravedad. Esta fuerza la genera el centro de la tierra por acción de su masa, y aunque la persona no esté en contacto con él, sí siente la acción. El peso de la persona se transmite directamente por contacto físico a la hamaca y de esta pasa a los árboles por medio de los amarres; por último los árboles la transmiten al suelo.

La figura 2 muestra una aplicación de la fuerza proveniente del magnetismo, con la cual se mantiene suspendida en el aire la esfera que representa el globo terráqueo.

Por su parte los momentos, son generados por fuerzas de contacto que se aplican en ciertos puntos de los objetos que se encuentran alejados de los apoyos de los mismos. Representan una tendencia al giro, la dirección del cual, dependerá de la dirección de aplicación de la carga. En estos casos, el momento resulta de multiplicar la magnitud de la fuerza aplicada por la distancia entre el punto de aplicación y el punto de apoyo. En la pieza de mobiliario mostrada en la figura 3, se observa cómo la aplicación de la carga del peso del usuario a una distancia del punto de unión entre la base y la zona de apoyo genera una rotación en esta última y brinda la posición de descanso para quien la usa.

Lo más importante para el manejo de las fuerzas y los momentos radica en entender su naturaleza vectorial. Esto significa que son magnitudes (variables medibles y cuantificables) que requieren de 3 parámetros para ser completamente descritas desde el punto de vista analítico: magnitud, dirección y sentido. Por esta misma razón se requiere para su análisis un sistema de referencia de unidades que permita establecer puntos de comparación para las variables. Las unidades en que se manejan estas dos variables son los Newtons (N) para las fuerzas y los Newtons por metro (Nm) para los momentos.

Además de lo anterior, necesario mencionar que las cargas pueden ser aplicadas de diferentes maneras sobre un objeto. Si la carga se aplica de manera lenta y su magnitud es siempre constante, se tiene una condición de carga estática. Si por el contrario, la carga se aplica de manera intempestiva y/o varía su magnitud cada vez que se presente, se tiene una situación de carga dinámica. Por otro lado, en el caso en que las cargas se apliquen de manera repetitiva continuamente, se puede llegar a tener una situación de fatiga, con la cual habrá que establecer elementos adicionales de análisis.

Del análisis de la dirección y del sentido de las fuerzas y de los momentos es posible establecer una tipología de clasificación para ellos, buscando con esto separar el análisis y las consecuencias que tiene para un objeto el estar sometido a un determinado tipo de cargas. Así, se plantean 4 tipos de cargas: las fuerzas axiales, las fuerzas transversales, los momentos flectores y los momentos torsores (figura 4).

Figura 1. Sistema de fuerzas de contacto y de gravedad.

Foto: [www.wooster.edu](http://www.wooster.edu).

Figura 2. Sistema de levitación magnética de Replôbe Globes.

Figura 3. Silla omni.

Figura 4. Tipología de las cargas externas que afectan los objetos industriales.





Figura 5. Elemento sometido a fuerzas axiales de tracción.  
Fotografía: [www.con-la-natura.de](http://www.con-la-natura.de)  
Figura 6. Sistema de salto Flybar  
Figura 7. Sistema de anclaje de Bird Screen company.  
Figura 8. Cama hospitalaria con ayuda de movilidad.

Un ejemplo de un objeto sometido a fuerzas axiales sería el sistema de cuerdas elásticas utilizadas como amarre para el salto de la persona en la figura 5. En este caso la cuerda trata de alargarse cuando el usuario llega al final del recorrido. Esta situación de carga se conoce también como fuerza de tracción. El sistema de salto de la figura 6 posee una barra inferior, que cada vez que el usuario toca el suelo para rebotar se somete a una fuerza axial que intenta disminuir su longitud. A esta carga se le denomina fuerza de compresión. Para ilustrar una situación de carga de fuerza transversal se puede observar el montaje de la figura 7, en el cual se muestran dos chupas de vacío con un soporte. Cuando el soporte se ponga en uso, la fuerza que aplique el elemento que se cuelgue tratará de "cortar" el sistema de anclaje debido a la dirección de la carga.

Los momentos flectores son aquellos que generan en el objeto una tendencia al giro a lo largo del eje longitudinal, es decir, tratan de flexionar-doblar- el objeto. Generalmente los momentos flectores se generan por fuerzas transversales que son aplicadas a una cierta distancia de los puntos de apoyo del objeto. En la cama hospitalaria mostrada en la figura 8, se observa una ayuda de movilidad para el paciente, por medio de la cual se ayuda a levantar. Cuando el usuario genera con su peso una fuerza transversal hacia abajo, el elemento de soporte tratará de doblarse por la acción de un momento que será equivalente al valor del peso de la persona multiplicada por la distancia que hay entre el mango de agarre y el elemento vertical de soporte.

Los momentos torsores son aquellos que generan sobre el objeto una rotación sobre su eje longitudinal, es decir, el objeto tratará de "enrollarse" sobre sí mismo por la acción de este tipo de cargas. La llave de la figura 9 es un ejemplo en el cual el torque generado por el usuario debe transmitirse a la cerradura a través del objeto, sometiéndolo a torsión.

Existen también condiciones de trabajo, muy comunes por cierto, en las que se presenta más de una tipología de carga actuando a la vez sobre el objeto. Técnicamente esto se denomina carga combinada, y su análisis requiere en principio una observación individual de las consecuencias locales de cada carga por separado, y luego, superponer esos resultados y extrapolar la consecuencia global. La figura 10 muestra un objeto en el cual se presenta una condición de carga combinada, cuando la persona presiona el mango para generar la fuerza de corte, genera a la vez una carga transversal y un momento flector sobre el brazo de palanca. Un destornillador es un ejemplo de objeto en el cual se requiere soportar cargas de torsión en un momento (figura 11) y cargas de flexión en otro, cuando se use el instrumento como palanca (figura 12).



Figura 9. Llave.

Figura 10. Cortaúñas / [www.aswer.com](http://www.aswer.com).

Figura 11. Destornillador siendo usado en torsión.  
<http://www.msdk12.mo.us/vncational/woodworking/tools%20%2005/3on%20with%20tool.jpg>

Figura 12. Destornillador siendo usado como brazo de palanca  
<http://www.csmate.colostate.edu/citw/cohortpages/viney/canscrewdriver.JPG>

Figura 13. Sartén con recubrimiento antiadherente de Kitchen Basics

Una condición puntual de las situaciones de carga combinada se da cuando un objeto debe desempeñar varias funciones en tiempos diferentes y por lo tanto requiere ser pensado para que soporte todas las posibles cargas a las que estará sometido. Cuando un objeto industrial se somete a un cambio de temperatura sufre alteraciones morfológicas. Si el cambio es positivo, es decir, si se produce un calentamiento, el objeto tenderá a dilatarse. Si por el contrario se tiene un cambio negativo o enfriamiento, se producirá una contracción o disminución de dimensiones. El estudio de estos cambios geométricos requiere separar dos condiciones de funcionamiento. Una en la cual el objeto no tenga ningún impedimento para dilatarse o contraerse y otra en la que el desplazamiento esté restringido por algún tipo de contacto o de anclaje. Es posible también que se presenten situaciones en las cuales unas zonas del objeto estén libres y otras ancladas. No sólo basta con identificar los valores extremos de la temperatura de trabajo del objeto y sus condiciones de apoyo. El tiempo en que alcanza la temperatura es también de suma importancia, ya que algunos materiales, como la mayoría de los cerámicos, poseen una capacidad restringida para absorber cambios de temperatura drásticos instantáneos. Además de los cambios geométricos, es clave mencionar también que las propiedades mecánicas de los materiales se ven afectadas de manera negativa con los aumentos y las disminuciones drásticas de la temperatura. Por lo que el análisis estructural de un objeto industrial exige de un estudio térmico simultáneo.

El sartén mostrado en la figura 13 es un objeto que sufrirá cambios térmicos durante su funcionamiento. En este caso se puede observar que la parte de contención de los alimentos y el mango no tienen restricción de movimiento. Sin embargo, en la zona donde ambos se unen, se presenta una transición que limita la posibilidad de desplazamiento de las piezas pudiendo generar problemas de malformaciones. También el recubrimiento antiadherente en la base y en las paredes interiores y el elemento aislante en el mango, son elementos de análisis, en la medida en que pueden presentar problemas debido a que están fabricados en un material diferente al del cuerpo del sartén, por lo que reaccionarán de manera diferente a los cambios térmicos.



Figura 14. Análisis morfológico.

Figura 15. Análisis morfológico geométrico.

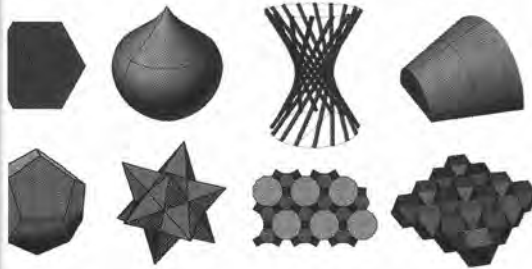
## 1.2 DESDE LA MORFOLOGÍA

En el caso de estudiar la morfología de los objetos en relación con su función estructural, se encuentran tres grandes componentes de análisis en lo que a la configuración geométrica se refiere: uno global, otro local macroscópico y por último, uno local microscópico. Aunque se deben analizar siempre los tres por separado, es la unión sinérgica entre ellos lo que genera la funcionalidad del objeto.

La morfología puede verse desde dos puntos de vista diferentes en cuanto a su aporte funcional a un objeto industrial. El primero consiste en que la morfología es un parámetro de diseño que aporta propiedades o características al objeto a partir de la manera en que éste se configura espacialmente, siendo muy común en este punto su visión superficial global (imagen global que tiene un observador al ponerse en contacto con el objeto); ejemplo de esto podría ser el hecho de definir un objeto como orgánico a partir de la identificación de la ausencia de aristas agudas en su superficie. El otro, se establece a partir de observar la morfología como un parámetro que posee una serie de propiedades y atributos que son consecuencia del conjunto de sus características propias. En este caso el valor del momento de inercia de una sección transversal sería un atributo propio de una determinada organización morfológica.

### 1.2.1 CONFIGURACIÓN GLOBAL

Con el término configuración global se hace referencia a la manera en que el objeto se organiza geométrica y espacialmente como un todo. Las diferentes partes que componen el objeto, sea o no monolítico, poseen una determinada disposición y ubicación espacial o planar en relación con su función. Por lo que el análisis de este parámetro morfológico debe desarrollarse entonces desde la bi y la tridimensionalidad. Existen tres posibles caminos para el desarrollo de un análisis morfológico global en una estructura (figura 14): la comparación o referencia con patrones geométricos existentes, el manejo de la biónica (referentes naturales) y el desarrollo de nuevas configuraciones.



En cuanto a la comparación o referencia con patrones geométricos, se tiene que dentro del estudio de la geometría se han desarrollado metodologías de análisis cuantitativas y cualitativas. Las primeras utilizan condiciones trigonométricas y algebraicas para configurar teoremas que regulan la disposición morfológica de los elementos. A este conjunto de herramientas metodológicas para el estudio numérico de la geometría se le ha denominado geometría analítica<sup>1</sup>.

El estudio cualitativo por su parte, se basa en apreciaciones que toman como objeto de análisis la comparación de ciertas características puntuales de la morfología como la longitud, la simetría y las relaciones que se establecen entre ellas. La geometría euclidiana se encarga en este caso de propiciar los elementos conceptuales para su manejo, siempre y cuando no se presenten curvaturas. Cuando la curvatura (hiperbólica y elipsoide) llega a ser importante, la geometría no euclidiana hace su aparición y permite ahondar en las relaciones que no se basan en lo rectilíneo. Por último, la geometría fractal se encarga de esclarecer el manejo de la no regularidad de la forma a partir de elementos conceptuales de la teoría del caos. La figura 15, resume los tipos de análisis geométrico y sus principales elementos.



Con base en lo anterior, se puede decir que existen patrones geométricos establecidos que poseen una serie de características que un proyectista puede tomar como referencia de configuraciones globales para sus diseños en pro de la eficiencia funcional. La figura 16 muestra algunos de ellos. Las siguientes representan las más comunes dentro del diseño industrial:

- Las líneas
- Las áreas planas
- Las superficies de revolución
- Las superficies regladas
- Las secciones cónicas
- Los sólidos regulares y semirregulares
- Las redes y las agrupaciones.

Dentro de cada una de las anteriores guías morfológicas se pueden encontrar beneficios específicos para una determinada acción dentro de la función estructural.

En la comparación natural, se utiliza la biónica o biomimética para trabajar. Desde la definición de biónica-biomimética (estudio de sistemas naturales, su forma, función y procesos con el fin de extraer modelos que den indicaciones técnicas y conceptuales para innovar en diseño<sup>2</sup>) puede identificarse la inmensa utilidad que tendría para un diseñador industrial el saber entender la naturaleza y su manera de trabajar, para apropiarse de ese conocimiento y materializarlo en objetos con funciones estructurales. La figura 17 muestra un ejemplo de cómo el estudio de la naturaleza brinda al diseño capacidades de optimización y de innovación. La compañía Daimler Chrysler estudió el pez caja para el desarrollo de un auto concepto debido al poco rozamiento que este animal genera con el agua mientras nada.

<sup>1</sup> Eves, Howard. Foundations and fundamental concepts of mathematics. Dover publications inc. 1990. p 92-94.

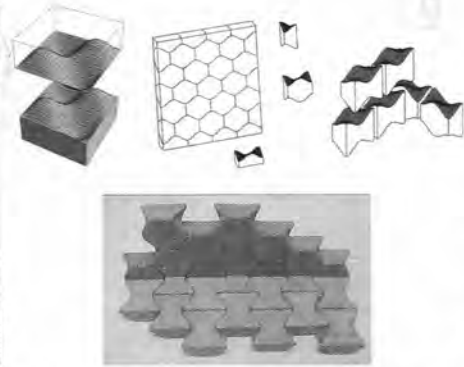
<sup>2</sup> Hartsornie, Robin. Geometry: Euclid and beyond. Springer. 2000. p 117-118.

<sup>3</sup> Sierra, Fernando. Por qué mirar la naturaleza. En: Iconofacto. Vol. 1. Nº 1. Julio. 2005. p. 23-29.

Figura 16. Ilustración de patrones geométricos comunes. Ever Patiño

Figura 17. La biónica como referente formal.

www.daimlerchrysler.com



El estudio biónico de la configuración global de un objeto industrial puede dividirse en 5 categorías<sup>3</sup>:

- La imitación completa: en la que se copian de manera exacta las características del modelo natural.
- La imitación parcial: donde se modifica la configuración del modelo de manera parcial.
- Sin parecido biológico: se hace referencia solo a una imitación funcional.
- La abstracción: toma como base mecanismos aislados de un sistema natural.
- La inspiración: acoge al modelo natural sólo como fuente de ideas creativas.

Para conceptualizar la manera en que un diseñador puede tomar como referencia la biónica para el análisis de la configuración global de los objetos, se parte del hecho de que cualquier forma en la naturaleza es resultado de un proceso que tiene varias características: no es controlado y depende de las condiciones del entorno, depende de las leyes de la física y de la química, está guiado (en los organismos vivos) por características genéticas y se adapta a las necesidades de los organismos<sup>4</sup>.

En la medida en que se acepte y se contextualice el proceso de generación y transformación de la forma en la naturaleza, el diseñador podrá acercarse a su uso de manera segura y con la certeza de que los patrones de ella extraídos le serán de mucha utilidad (figura 18).

Desde la experimentación con nuevas configuraciones a partir de las metodologías de búsqueda objetiva de la forma, se podrían alcanzar disposiciones globales que no puedan ser referenciadas ni desde los patrones geométricos existentes, ni desde la naturaleza. Un ejemplo de estas configuraciones se presenta con algunos de los resultados obtenidos alrededor del tema del reemplazo de los elementos continuos en forma de paneles por agrupaciones organizadas topológicamente<sup>5</sup>. Esta organización se plantea a partir de unidades estructurales con geometrías denominadas osteomórficas (bloques tridimensionales con superficies de contacto curvas, ver figura 19) muy variadas que eviten el colapso de la estructura en caso de ser afectada en un solo punto por una carga.

Figura 18. Estación de tren en Lisboa, diseñada por Santiago Calatrava a partir de una estructura arbórea.

Figura 19. Configuración macroscópica global de una placa a partir de la experimentación morfológica.

Figura 20. Partes de un objeto industrial

<sup>3</sup>Lodato, Franco, Biónica: La naturaleza como herramienta de innovación. En: Experimenta. N° 12, octubre, 2000, p 46-51.

<sup>4</sup>Podorschi, Valeriu y Vaculenco, Maxim. Study of natural forms – the source of inspiration in the product design. En: dpr.univth.ro/adept/asi/C3-6.pdf. Consulta 11/08/06.

<sup>5</sup>Khor, H.C. et al. Mechanisms of fracturing in structures built from topologically interlocked blocks. Structural Integrity and Fracture: Proceedings of the International Conference, SIF 2004.



### 1.2.2 CONFIGURACIÓN LOCAL MACROSCÓPICA

Con lo local macroscópico se hace referencia a la conformación que poseen los elementos funcionalmente individuales que componen un objeto industrial. Aun si el objeto es monolítico, es posible diferenciar en él una serie de partes que poseen características formales individuales que los relacionan con la función por un lado y entre ellos mismos por el otro. La identificación de estas partes y sus individualidades se convierte en el segundo paso para el análisis morfológico de un objeto industrial, luego de haber desarrollado ya un proceso de evaluación y análisis sobre la configuración global. En la figura 20 se muestra la silla Mirra de Herman Miller con todas sus partes separadas. El análisis individual comienza con una definición de cuál de las unidades fundamentales - longitud (L), área (A) y/o volumen (V) - será tenida en cuenta y en que orden (figura 21). Esta primera etapa afecta de manera directa entre otros aspectos, el escalado de los objetos, en la medida en que la relación dimensional entre cada uno de los conceptos cambia bajo un esquema que no es lineal. Esto es, el área se representa como una función cuadrática de la longitud ( $A=L^2$ ) y el volumen como una función cúbica ( $V=L^3$ ). Esta característica obliga al diseñador a tener sumo cuidado cuando modele sus objetos y quiera luego escalarlos a tamaños reales, ya que los cambios dimensionales descontrolados pueden afectar el desempeño estructural de las partes del objeto y de su conjunto.

Figura 21. Unidades fundamentales para el análisis morfológico local.

Figura 22. Clasificación dimensional de los objetos industriales o de sus partes. <http://www.auerhahn-bestecke.de/>

Figura 23. Descomposición de un sistema estructural en sus elementos.

Silla diseñada por Paul Leroy, imagen tomada de [www.woodmatk.com.au](http://www.woodmatk.com.au)

Villa 24. Silla diseñada por Laurent Massaloux con composición interna a partir de cavidades / [www.massaloux.net](http://www.massaloux.net)

Una vez definida la importancia relativa de las dimensiones del objeto y sus relaciones, es posible caracterizar cada parte o unidad funcional fundamental a partir de la comparación espacial entre sus longitudes (largo, ancho y profundidad). Con esta caracterización, los objetos o partes pueden clasificarse en unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales (figura 22). Como el nombre lo dice, cada clase representa en su orden la presencia de una, dos o las tres dimensiones relativamente importantes unas entre otras. Esta relación se propone bajo un análisis comparativo con respecto al tamaño de las piezas. La figura 23 muestra un objeto industrial que globalmente corresponde a una pieza tridimensional para el cual, cada una de las partes que lo componen poseen características diferentes.

Además del análisis de las dimensiones de las piezas, es importante definir las características que poseen cada una de las partes componentes del objeto en función de su composición interna. Esto es, si la parte es maciza o posee algún tipo de cavidades. Si el elemento posee solo una cavidad se le denominará hueco, si por el contrario posee varias podrá definirse como un elemento poroso. El tamaño, la geometría y la manera en que se dispongan las cavidades son importantes para el diseño de este tipo de piezas. La figura 24 muestra un ejemplo de una silla cuya estructura interna posee cavidades.





Los elementos generales del estudio de la morfología desde una visión macroscópica local son: el tamaño, el volumen, la superficie, la textura y la simetría. No en todos los casos será necesario explorar cada una de las variables, sin embargo, para la función estructural son necesarias las cuatro. En un segundo nivel de importancia existen otras variables de análisis morfológico que generalmente son también muy útiles para el diseño estructural. El perímetro, el eje longitudinal, la sección transversal, la angularidad, la curvatura y la tolerancia (figura 25). Cada una de estas variables (primarias y secundarias) representa un conjunto de otras subvariables que el diseñador deberá tener en cuenta al momento de la proyectación; su análisis, como ya se ha mencionado en otras etapas del proceso, debe hacerse inicialmente individual, y luego, poner las variables y subvariables en relación. El tamaño se define como una relación comparativa (multiplicativa) entre las tres dimensiones de un objeto o de una parte. Generalmente se estructura a partir de niveles cualitativos definidos desde comparaciones con respecto a un patrón (grande o pequeño). De alguna manera, el tamaño podría manejar cuantitativamente en la medida en que se relacione con las unidades fundamentales ya mencionadas. En los objetos unidimensionales se definirá por la longitud, en los bidimensionales por el área y en los tridimensionales por el volumen. El volumen por su parte representa la cantidad de espacio tridimensional ocupado por la pieza. Debe diferenciarse de la masa, ya que esta última tiene en cuenta la densidad del material y la idea en este momento es plantear una visión enfocada sólo a las características morfológicas. Es una variable cuantitativa que se relaciona de manera directa con el tamaño (longitud y área); sin embargo, como ya se mencionó, se debe tener en cuenta que esta relación no es lineal, es decir, si el tamaño aumenta al doble, el volumen no necesariamente lo hará en esa misma proporción. Cuando se tienen objetos con cavidades, la magnitud del volumen se establece desde dos parámetros: el valor de la pieza como un todo y el de la relación entre la pieza y el volumen ocupado por las cavidades.

Figura 25. Variables primarias y secundarias para el análisis morfológico.  
Figura 26. Análisis de la superficie como herramienta de diseño

27

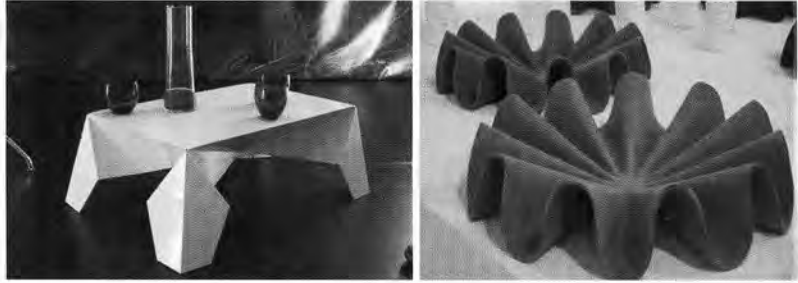


Figura 27. Objetos con superficies definidas por dos o tres dimensiones / [www.mocoloco.com](http://www.mocoloco.com).

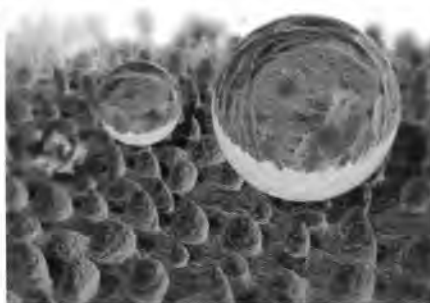
La superficie hace relación a la frontera entre el objeto y su entorno. Puede definirse como una película delgada<sup>6</sup> que rodea al objeto y que establece lo que un observador visualiza en cuanto lo vea. Esta frontera se caracteriza a partir de varias particularidades: la curvatura, el espesor y la configuración espacial o plana que posea. Es una variable de diseño que puede manejarse tanto cualitativa como cuantitativamente, dependiendo de lo que se busque definir. Si el objeto es macizo se habla de superficie exterior como variable de análisis; si se trata de un elemento hueco se maneja tanto la superficie interior como la exterior.

Es posible tener superficies planas, dobladas o curvadas, y dentro de estas últimas puede darse el caso de tener curvatura en una o en dos direcciones. Para la curvatura en una dirección existe la posibilidad de que se presenten curvas como tal, enrollamientos u ondas. Dentro de las superficies curvadas en dos direcciones, se tienen las sinclásticas, con la misma curvatura en ambas direcciones, y las anticlásticas, con dos tipos de curvatura, una en cada dirección (figura 26).

Cuando se tiene un objeto o elemento hueco, es posible hablar de que la frontera puede ser gruesa o delgada, definiéndose esto a partir de la relación entre el espesor y el área superficial. Además, la superficie puede tener un espesor constante o continuo o discontinuamente variable. Esto es, es constante cuando se tiene el mismo valor de espesor en toda el área superficial, continuamente variable cuando los cambios en el valor del espesor se dan gradualmente y discontinuamente variable cuando se identifica algún tipo de patrón de variación que se repite sobre toda la superficie.

La manera en que la superficie cubre el espacio es otra característica básica para su estudio. Existen superficies que se definen en dos dimensiones (planas) y otras lo hacen en el espacio (espaciales), es posible encontrar elementos cuya frontera se define por una mezcla entre superficies planas y espaciales (figura 27).

<sup>6</sup>El hecho de tomar a la superficie como delgada no significa que su espesor siempre sea despreciable, se define de esta manera para separarla del interior de los objetos o partes.



La textura se define como la manera en la cual la superficie exterior de un objeto se configura espacialmente a una escala menor a la que se maneja para definir las dimensiones generales del objeto. Para que un objeto o elemento tenga textura puede presentarse un cambio periódico, ordenado o no, del espesor de la superficie o visualizarse una configuración ondulada o plegada con radios de curvatura y dobléz muy pequeños comparados con las otras dos dimensiones del objeto. La figura 28 por ejemplo, muestra una fotografía ampliada de la superficie de corte de un cuchillo de acero, en ellas se nota claramente la textura con la que se desempeña la función.

Comúnmente la textura se referencia como rugosidad y su ausencia como especularidad. La textura necesita tener un referente de escala (generalmente las micras) para definirse, ya que es posible hablar inclusive de textura a escala microscópica. La figura 29 muestra una microfotografía en la que se observa la textura de una hoja de loto y como ella genera que la tensión superficial de la gota de agua no se rompa. La selección de esta escala depende del tipo de función que el objeto desempeñará.

La simetría por su parte es una variable que establece patrones de orden en la distribución de las demás variables. Se basa en una comparación cualitativa de la manera en que la materia se distribuye en los objetos o elementos y tiene sólo dos niveles de calificación: simétrico o asimétrico. Se define siempre a partir de una referencia, que para los elementos unidimensionales es un punto, para los bidimensionales es una línea y para los tridimensionales es un plano. Por ejemplo, la figura 30 muestra cómo en la herramienta de corte, que es un objeto bidimensional, no se tiene simetría con respecto a los ejes indicados. Dentro del análisis de esta variable es posible tener uno o varios puntos de referencia.

\*Como se mencionará en breve, la sección transversal es una sección plana y como toda sección plana tendrá un punto en el cual se concentre y se equilibre la masa, ese punto se denomina centroide.

Figura 28. Ejemplo de textura

<http://www.hotpixel.cl/pp/index.php?showimage=231>.

Figura 29. Textura microscópica de una flor de loto.

<http://wthielicke.gmxhome.de/bionik/indexuk.htm>



El perímetro es una variable que se define a partir de una línea continua muy delgada que rodea un espacio bidimensional. Para caracterizar esta variable hay que establecer qué tipo de disposición planar posee y cuál es su longitud. Para la definición de su disposición se usan herramientas de geometría plana que básicamente permiten establecer la configuración más cercana a la situación en estudio a partir de la comparación con patrones establecidos, como por ejemplo los polígonos, el círculo o las secciones cónicas. En caso de no acercarse a un patrón conocido, la geometría analítica permitirá establecer las ecuaciones pertinentes para su definición y posterior uso en el proceso de diseño. En el objeto mostrado en la figura 31, se observa cómo la manera en que el perímetro de la zona de apoyo se configura, define la posibilidad de que se cumpla la función de mecere.

Existen dos de las variables secundarias, el eje longitudinal y la sección transversal, que deben ser observadas y analizadas de manera simultánea. Esta simultaneidad se justifica mencionando que se requiere de una para definir la otra y viceversa. El eje longitudinal se define como una línea continua imaginaria que pasa por el centroide<sup>1</sup> de la sección transversal y es paralela a la mayor dimensión del objeto. Puede ser recta o curva y se ubica en el plano o en el espacio. La figura 32 muestra dos objetos, un bate de béisbol y un martillo de alpinismo, en el primero se evidencia un eje longitudinal recto y en el segundo un eje curvo.

La longitud y trayectoria del eje longitudinal está definida por la manera en que la sección transversal del objeto esté dispuesta. Para la obtención de esta variable es necesario seccionar el objeto o la parte con tantos cortes como variaciones en el área transversal se presenten, identificar en cada uno de esos planos el centroide y finalmente unir esos puntos con una línea. Las características del eje longitudinal son entonces, su longitud y su orientación con respecto a una referencia conocida. Si la sección transversal es constante a lo largo de todo el eje longitudinal se dice que el objeto o parte es prismático. La figura 33 muestra un sistema de juegos para un parque infantil en el cual todos sus elementos (eje central, círculos de apoyo y cuerdas) son elementos prismáticos. En el caso en que la sección varíe, se presentan dos opciones: la primera, con la que se analiza una variación suave, no drástica (figura 34 arriba); y la segunda, donde la sección cambia su configuración radicalmente y casi de inmediato (figura 34 abajo).

Figura 30. Herramienta que no posee simetría con respecto a ningún eje.  
www.bahco.com

Figura 31. El perímetro como variable morfológica funcional. sirch.de

Figura 32. Ejemplo de objetos con eje longitudinal recto y curvo.

www.rawlings.com www.pmountainmagic.com

Figura 33. Sistema estructural compuesto por elementos prismáticos

www.reymann.de

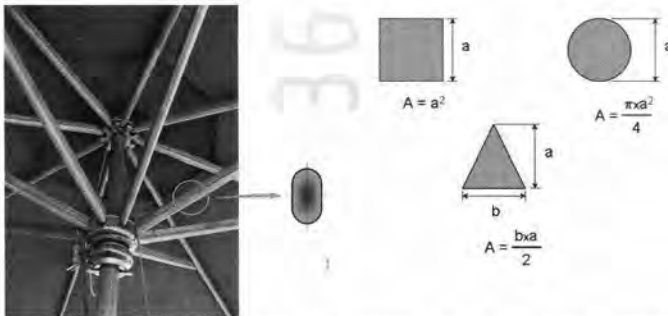
Figura 34 arriba. Las patas de los lentes para sol poseen una configuración no prismática que varía de manera sutil.

www.oakley.com

Figura 34 abajo. La conformación del cuerpo del utensilio para aplastar

ajos presenta cambios morfológicos drásticos en la sección transversal.

www.tupperware.com



La sección transversal es una sección siempre plana que se obtiene a partir de un corte, obviamente plano, transversal y perpendicular al eje longitudinal del objeto. Queda definida por el cerramiento de una determinada área plana por medio de un perímetro. La figura 35 muestra un sistema estructural perteneciente a la parte interna de una sombrilla de jardín, a la izquierda se muestra la configuración de la sección transversal de uno de los elementos de la estructura. Para caracterizar esta sección se establecen dos elementos básicos, la cantidad de materia que posea y la manera en que esta materia se distribuya en el área disponible. Para la primera es el área transversal la propiedad que la define y para su distribución se tiene al momento de inercia y al momento polar de inercia como referencias.

El área transversal es una propiedad de las áreas planas que especifica cuánta materia real se encuentra encerrada en un perímetro del cual se conocen sus características. Numéricamente se representa con unidades de longitud elevadas a la segunda potencia, lo que genera que su relación con las longitudes del perímetro no sea linealmente proporcional. Para las configuraciones básicas (cuadrado, círculo y triángulo) se conoce la relación dimensional entre sus longitudes que da como resultado el valor del área (figura 36).

Figura 35. Sección transversal de un elemento estructural.  
www.dimeu.co.za

Figura 36. Área transversal de las secciones básicas

Para encontrar el área transversal de una sección que no corresponda a una sección básica existen dos caminos. El primero consiste en la división de la sección global en secciones más pequeñas de configuración perimetral a la cual se le conozca la relación entre dimensiones (secciones básicas) que de cómo resultado el área transversal. Se encuentra luego el área de cada subsección y se suman todas las áreas para encontrar el área total. Este procedimiento es útil para configuraciones en las cuales la subdivisión no genere espacios descubiertos, esto es, que luego de la subdivisión se encuentren espacios que no correspondieron a algún patrón.

Si el perímetro de la sección en estudio se configura de manera compleja (no separable en formas conocidas) se debe hacer uso del cálculo diferencial e integral para encontrar el área transversal. Para este procedimiento es indispensable conocer cuál es la ecuación o conjunto de ecuaciones que rigen la configuración geométrica del perímetro de la sección.

El momento de inercia representa la manera en que la materia contenida en una sección transversal se distribuye en una dirección determinada con respecto a una línea específica, la cual es generalmente un eje de referencia que pasa por el centroide de la sección. Se entiende también que el valor del momento de inercia representa físicamente la tendencia que posee la sección para girar o rotar sobre el eje que sirvió para calcular la variable; en la medida en que ésta aumente, la tendencia disminuirá.



Es una variable que se maneja siempre cuantitativamente, a partir de relaciones entre las diferentes dimensiones de la sección, que son establecidas a partir de procedimientos analíticos. En la figura 37 se muestra a la derecha una barra de balance para gimnasia olímpica siendo utilizada y a la izquierda la sección transversal de este elemento, en la que se identifican configuraciones huecas que aportan un alto valor al momento de inercia de la sección.

Al igual que el área transversal, el cálculo del momento de inercia de una sección puede hacerse directamente, si la configuración del perímetro de ella corresponde a una forma conocida (círculo, anillo, polígono, etc.) de la cual se posea ya la relación dimensional. En caso de que no sea esta la situación, la sección puede descomponerse en formas básicas y aplicar un teorema de cálculo denominado teorema de los ejes paralelos<sup>8</sup>, con el que se calcula la variable ya que no es posible descomponer la sección en configuraciones conocidas, encontrar el momento de inercia de cada una de estas secciones más pequeñas y luego sumar esos valores para encontrar la magnitud total.

Por lo que es importante mencionar que el momento de inercia no se relaciona de manera directamente proporcional con el área, es decir, si el área de una sección aumenta al doble por ejemplo, no necesariamente la inercia lo hará en la misma medida; todo depende de la manera que se distribuya la materia con respecto al eje de análisis.

El momento polar de inercia indica si el material que se encuentra dispuesto alrededor del centroide de una sección específica lo está de manera simétrica con respecto al centroide. A diferencia del momento de inercia, esta variable toma como referencia dos dimensiones para su interpretación. Se maneja también de manera numérica y es igual a la suma de los momentos de inercia calculados en las direcciones X e Y de la sección<sup>9</sup>. Es claro entonces que en la medida en que la materia de la sección se distribuya de manera simétricamente alrededor del centroide, el valor del momento polar de inercia será mayor. Esta variable no se relaciona tampoco de manera directa con el área transversal ni con el momento de inercia.



El manejo de los ángulos es un tema que de alguna manera toca muchas de las otras variables ya expuestas. Es una variable que se maneja de manera plana, y aunque en configuraciones tridimensionales los ángulos son muy importantes, se debe separar su análisis en planos independientes. La figura 38 muestra un tipo de bastón de 4 patas en el que se observa claramente la presencia de los ángulos como sistema de configuración estructural. Los ángulos y su incidencia en la configuración morfológica de los objetos o elementos se establecen desde la trigonometría<sup>10</sup>.

Figura 37. Sección transversal con un alto momento de inercia. [www.gymtude.com/images/00PhotoAlbums/bigpage75/54\\_Mari\\_hits\\_a\\_final\\_pose\\_before.jpg](http://www.gymtude.com/images/00PhotoAlbums/bigpage75/54_Mari_hits_a_final_pose_before.jpg)

[www.gymnasticsstuff.com/GymnasticsEquipment.htm](http://www.gymnasticsstuff.com/GymnasticsEquipment.htm)  
Figura 38. Bastón de 4 patas como ejemplo de la posibilidad estructural de los ángulos. / [www.westons.us](http://www.westons.us)

<sup>8</sup>Hibbler, R. C. *Mechanics of materials*. Fourth edition. Prentice Hall, 2000. p 778-786.

<sup>9</sup>Las direcciones X e Y representan los ejes de referencia comúnmente usados para el análisis gráfico cuantitativo de las secciones transversales.

<sup>10</sup>La trigonometría se define como la rama de la matemática que se encarga de definir las relaciones entre los ángulos y sus distintas dimensiones.

Gibilisco, Stan. *Trigonometry Demystified*. McGraw Hill, 2003. 303 p.



Los ángulos pueden también ser manejados de manera cualitativa o cuantitativa. Dependiendo del nivel de apertura de dos líneas rectas que formen un ángulo se podrá clasificar a éste como agudo (menor de  $90^\circ$ ), recto (igual a  $90^\circ$ ), obtuso (mayor que  $90^\circ$  pero menor de  $180^\circ$ ) o llano (igual a  $180^\circ$ ). Numéricamente se miden en un ángulo dos características: el ángulo como tal, para el que se utilizan los grados y el valor de la longitud del arco (perímetro del arco) que se forma entre los extremos de las líneas en cuestión, para la que se usa cualquier unidad de longitud.

En la definición de superficie se trató el tema de la curvatura, sin embargo es necesario ahondar en él un poco más. La curvatura se define como una condición morfológica que pueden experimentar las líneas y las superficies. Se establece que hay curvatura siempre que no exista una condición de planitud en el objeto de estudio. Dentro del diseño industrial es común utilizar sólo el manejo bidimensional de la curvatura, ya que aun teniendo sistemas tridimensionales, estos se pueden dividir en partes de dos dimensiones, facilitando su manejo de manera significativa. Esta variable puede evaluarse de manera cualitativa o cuantitativa. La figura 39 muestra una prótesis para atletas con ausencia de extremidades inferiores en la que se evidencia la configuración de la curvatura en el objeto.

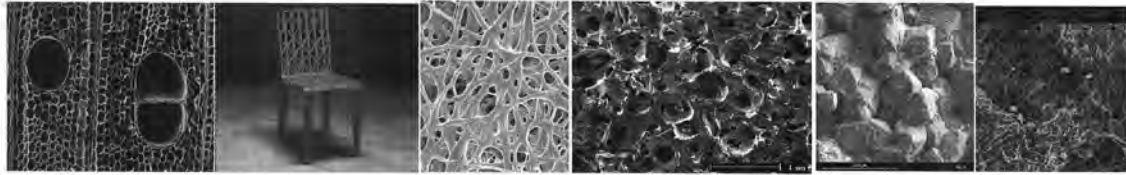
Cualitativamente la curvatura puede ser positiva o negativa, dependiendo de si se forman curvas o superficies cóncavas o convexas. También es posible hablar de curvaturas abiertas o cerradas, en la medida en que la pendiente de la curva sea más o menos constante y pronunciada a lo largo de su perímetro. Otra clasificación no numérica para la curvatura aparece del estudio de la manera como se comporta en el espacio. Si una superficie posee una doble curvatura similar en dos dimensiones (ambas cóncavas o ambas convexas) como en un iglú, se denomina sinclástica (figura 40). Si la curvatura cambia (una convexa y la otra cóncava) como en una silla de montar, se denomina anticlástica (figura 41). Numéricamente, la curvatura puede definirse a partir de otra variable denominada el radio de curvatura, que es el radio que tiene el segmento de arco que se estudia. La curvatura entonces será el inverso del radio de curvatura.

La tolerancia no representa una variable de diseño real, pero sí se considera como un parámetro morfológico que debe estar siempre presente en el análisis formal de un sistema funcional. Se entiende la tolerancia como el rango permisible de variación en las medidas morfológicas que definen el objeto o sus partes. El nivel de tolerancia depende de muchas condiciones, entre las más importantes de ellas se encuentran el hecho de que la pieza en estudio sea parte de un subensamble y deba entrar en contacto con otras piezas al momento de configurar el objeto y la posibilidad de que variables como el perímetro, la simetría o la textura requieran de mucha precisión dimensional. Es importante mencionar que el nivel de tolerancia lo define el diseñador en función del tipo de proyecto en el que se encuentre trabajando.

Figura 39. Prótesis con configuración curva. / [xatonia.com](http://xatonia.com)

Figura 40. Superficies sinclásticas / [www2.hawaii.edu](http://www2.hawaii.edu)

Figura 41. Superficies anticlásticas / [www.ann.jussieu.fr/~piquet/fr/fig2.jpg](http://www.ann.jussieu.fr/~piquet/fr/fig2.jpg)



### 1.2.3 CONFIGURACIÓN LOCAL MICROSCÓPICA

La configuración local microscópica hace referencia específica a la manera en que los materiales se estructuran internamente a nivel micro y nanométrico. La observación de esta organización geométrica, brinda al diseñador la última etapa de análisis morfológico de un objeto industrial que desempeñe una función estructural. Inicialmente es posible definir una primera clasificación para este parámetro de diseño: es posible tener configuraciones homogéneas y macizas o porosas. Posteriormente, es importante señalar que dentro de la tipología de materiales híbridos, al presentarse la mezcla de más de un material en la misma pieza, se establecen por ende diferentes configuraciones microscópicas, y con ellas, otras clasificaciones que generan diferencias representativas en el desempeño funcional de los mismos. Esta caracterización inicial -macizos o porosos- se puede generar desde de dos condiciones: la primera, enfocada a la naturaleza propia del material. Esto es, que el material de fabricación del objeto tenga una estructura microscópica porosa por naturaleza y no pueda ser modificada por el proceso de fabricación, como pasa en la madera. La figura 42 muestra a la izquierda una fotografía sem de la sección transversal de la madera y a la derecha una aplicación estructural. Lo anterior se da cuando se usan materiales porosos en su estado natural y se obtienen las piezas a partir de procesos de manufactura de deformación plástica, maquinado ó de desprendimiento de material.

O por otro lado, cuando el material, luego de ser procesado, se organiza de esta manera, por la adición de agentes o aditivos espumantes, como las espumas poliméricas o metálicas (figura 43) o por su propia naturaleza, como muchos de los cerámicos (figura 44).

Figura 42. Material poroso por naturaleza y una aplicación estructural del mismo  
[www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/biobik/BioBookPLANTANATL1.html](http://www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/biobik/BioBookPLANTANATL1.html)  
[www.domeauperes.com/azambourg.html](http://www.domeauperes.com/azambourg.html)

Figura 43. Espuma de polietileno de alta densidad y espuma de aluminio  
[www.meng.ucl.ac.uk/images/staff/2a.jpg](http://www.meng.ucl.ac.uk/images/staff/2a.jpg)  
[simx.epfl.ch/lmm/replication1.jpg](http://simx.epfl.ch/lmm/replication1.jpg)

Figura 44. Cerámico poroso  
[folk.ntnu.no/tores/SiC14/image47.jpg](http://folk.ntnu.no/tores/SiC14/image47.jpg)

Figura 45. Imagen SEM de la estructura porosa de una función de aluminio. Material que ha cambiado su configuración interna a causa del proceso de fabricación.  
[www.eng.yzu.edu/~mtegr/largesems/al1-3.jpg](http://www.eng.yzu.edu/~mtegr/largesems/al1-3.jpg)

Figura 46. Configuraciones porosas de celda cerrada y de celda abierta  
[www.ms.ornl.gov/researchgroups/cmt/foam/label.jpg](http://www.ms.ornl.gov/researchgroups/cmt/foam/label.jpg)  
[www.ems.psu.edu/~green/OpenCell.jpg](http://www.ems.psu.edu/~green/OpenCell.jpg)

La importancia de la configuración local microscópica en el análisis estructural radica en dos aspectos relevantes: El primero, el hecho de que la cantidad de material que posea la sección transversal es menor a la que se tendría en el caso de que el material fuera macizo. Esto se da en la medida en que las inclusiones de aire que hay en los poros así lo generen; y será cada vez menor a medida que estos poros sean ó más grandes o se presenten en mayor número. La segunda, la presencia de poros actúa como un concentrador de esfuerzos que si no se controla adecuadamente, cambia en la mayoría de los casos el comportamiento del material frente a las cargas, especialmente en lo referente al modo de falla. Algunos materiales dúctiles siendo homogéneos, cambian su naturaleza a frágiles, con todas las consecuencias que esto puede tener. Sobre todo en lo que se refiere a la capacidad de absorber las cargas y no fracturarse, ya que generalmente los materiales porosos fallan por fractura.

Además, es importante mencionar en este punto, que un material poroso puede presentar dos configuraciones, una en la cual las inclusiones de aire están encerradas en celdillas de material, a lo que se le denomina poro cerrado o celda cerrada. Y otros en los cuales las cámaras de aire están interconectadas entre sí, dando como resultado materiales de celda abierta. Para lo estructural es más crítica la celda abierta en la medida en que una posible grieta que se presente tendrá un camino más fácil de recorrer a través del objeto. La figura 46 muestra microfotografías de materiales porosos de celda cerrada izquierda y de celda abierta derecha. La celda cerrada brinda una mayor capacidad de amortiguación a los impactos.





Morfológicamente hablando, en los materiales porosos habrá que analizar las siguientes variables de diseño estructural:

- Densidad del poro (número de poros por unidad de volumen)
- Tamaño del poro (diámetro, promedio)
- Tipo de celda (abierta o cerrada)

En cuanto a los materiales híbridos se puede decir que nacieron de una necesidad funcional (estructural en algunos de los casos) a partir de la cual el hombre necesitó mejorar las propiedades de los materiales y no encontró cómo hacerlo desde uno solo que fuera económica y técnicamente viable. A partir de esto, las mezclas de materiales con naturalezas diferentes y/o los cambios en la configuración morfológica de alguna de estas partes en contacto, generó un nuevo camino<sup>1</sup> de desarrollo para la funcionalidad.

Existe una clasificación de las configuraciones híbridas de los materiales propuesta por Ashby<sup>2</sup> que abarca una globalidad importante en este tipo de organización morfológica. Esta clasificación mezcla tanto la naturaleza de los materiales que se unen como sus disposiciones morfológicas. Propone a los materiales compuestos, los sánduches, los materiales enrejados, y los materiales segmentados, como parámetros de clasificación.

Los materiales compuestos son mezclas de dos o más materiales, uno llamado matriz y otro o varios llamados refuerzos en los cuales se presenta una unión reactiva (interfase) entre los componentes y se da una mejora significativa de las propiedades. En este punto los compuestos son importantes en la medida en que se identifique que se configuran a partir de varios tipos de organizaciones morfológicas entre los constituyentes y que esto realmente es una de las principales características que aporta al resultado funcional final del material.

Hay compuestos fibrosos y compuestos particulados. Se denominan así tomando como referencia la presentación del refuerzo, que puede ser en fibras, largas o cortas, y/o en partículas. La organización del refuerzo en la matriz determina en gran medida las propiedades finales del material. Es posible hablar de que si el refuerzo es fibroso y largo, se puede organizar unidireccionalmente, bidireccionalmente (figura 47) o aleatoriamente (múltiples direcciones). Si el refuerzo es fibroso y de corta longitud se ubica generalmente de manera aleatoria (figura 48). Mientras que si se tienen partículas como refuerzo la organización será siempre aleatoria pero distribuida de manera uniforme en toda la matriz.

Una de las principales características del objeto que se ve afectada por el uso de los materiales compuestos es la isotropía. En la medida en que se usen refuerzos fibrosos de corta longitud, fibrosos de larga longitud distribuidos aleatoriamente o partículas, se podrá aproximar el comportamiento final del material a la isotropía. Si se usan refuerzos fibrosos largos, generalmente se obtienen resultados anisotrópicos muy diseccionados. La figura 49, muestra una aplicación estructural de un material compuesto anisotrópico (resina epóxica reforzada con fibras de carbono orientadas en dos direcciones).

Las variables de diseño de los compuestos son:

- Presentación del refuerzo
- Distribución del refuerzo
- Relación en peso y/o en volumen entre la matriz y el refuerzo

Los sánduches se pueden definir como la unión solidaria de dos o tres placas de materiales de diferente configuración local microscópica y diferente espesor. Esta unión busca por lo general mejorar la rigidez global del objeto a partir del aumento de la inercia de la sección transversal. No necesariamente los sánduches son configuraciones microscópicas, sin embargo se incluyen en esta parte porque en las otras dos configuraciones sería complejo involucrarlos. Uno de los ejemplos más comunes de este tipo de configuración la tiene el denominado cartón corrugado, en el cual tres láminas de cartón, dos lisas (las tapas) y una ondulada se unen para generar una estructura rígida con múltiples aplicaciones estructurales, como la silla mostrada en la figura 50.

En un sánduche se usa siempre una placa central que está cubierta por una o dos placas (tapas). La placa central está generalmente fabricada en un material poroso<sup>3</sup> y tiene un espesor mayor que el de las tapas, las cuales son siempre macizas. Es posible obtener un sánduche a partir de la unión de una placa central porosa y una o dos tapas de material compuesto. El uso de una o dos tapas dependerá de la aplicación. Las variables de diseño de esta configuración son:

- Ancho de las placas
- Espesor de la placa central
- Espesor de las tapas
- Propiedades mecánicas de los materiales

Los materiales enrejados representan una organización especial, en la cual se tiene un solo material que ha sido configurado a partir de la unión solidaria de pequeños segmentos que pueden ser láminas o barras, para formar un espacio poroso.



Se dice también que cuando se tienen configuraciones a partir de placas o barras con organizaciones poligonales no triangulares, el resultado es un material dominado por la flexión. Ejemplos de estos son las espumas. Mientras que si son barras organizadas en tetraedros, el material es dominado por estiramientos y encogimientos. Esta última configuración es llamada también micro marco.

Los materiales enrejados, llamados también sólidos celulares, pueden tener una configuración que alcanza a nivel macro o microscópico. Dentro del análisis microscópico, es posible retomar a los materiales cristalinos como principales exponentes de este fenómeno morfológico. En ellos sus estructuras atómicas se organizan siguiendo patrones que generan un determinado comportamiento macroscópico. El aluminio por ejemplo se organiza atómicamente de manera que cumple con un patrón denominado FCC (Faced Centered Cubic por sus siglas en inglés, o cúbica de cara centrada), este patrón se muestra en la figura 51 donde se aprecia el seguimiento a una organización bien definida. Desde lo macroscópico se encuentran todas las estructuras espumadas y algunas configuraciones novedosas desarrolladas hace muy poco tiempo (figura 52).

Las variables de diseño para estos materiales son:

- Configuración de los elementos
- Configuración de la reja

Los segmentos se definen como la unión, no necesariamente solidaria, de elementos uni, bi o tridimensionales. Los cables (unidireccionales) y las láminas (bidireccionales) son los elementos más usados en este tipo de configuración local. Los ladrillos por ejemplo son una muestra clara de un objeto tridimensional que puede generar una estructura segmentada. Se usan generalmente para aumentar la flexibilidad del sistema sin perder su resistencia (cables de acero, figura 53), para evitar que la sección transversal del objeto se distorsione durante la carga y para aumentar la capacidad

de soportar cargas sin fallar catastróficamente, como se muestra en la figura 54, un muro de ladrillos es menos propenso a una falla catastrófica cuando es afectado por una carga externa, comparado con una lámina de vidrio templado.

Se requieren tres condiciones para el diseño de una estructura segmentada con el fin de garantizar la capacidad portante del objeto y además las otras propiedades mencionadas:

- La configuración local de cada elemento
- La distribución de los elementos
- El mecanismo de unión

<sup>1</sup>“Nuevo camino” podría ser una frase ilógica, en la medida en que se sabe que desde hace ya muchísimos años el hombre ha utilizado mezclas de materiales de diferente naturaleza y configuración para obtener propiedades mejoradas, como el uso de la paja para reforzar mezclas de tierra húmeda, excremento y sangre de animales.

<sup>2</sup>ASHBY, M. Materials selection in mechanical design. BH, 3th edition, 2005.

<sup>3</sup>Aunque se suelen usar espumas como parte central de los sánduches, pueden usarse también láminas onduladas u otras configuraciones para esta parte, garantizando eso sí un bajo peso y un espesor determinado.

Figura 47. Tejido bidireccional de fibra de vidrio  
[www.germes-online.com/catalog/17/24/700/page2/5berglass.html](http://www.germes-online.com/catalog/17/24/700/page2/5berglass.html)  
[www.ems.psu.edu/~green/0pencil.jpg](http://www.ems.psu.edu/~green/0pencil.jpg)

Figura 48. Configuración aleatoria (MAT) para fibra de vidrio cortada  
[www.germes-online.com/catalog/17/24/700/page2/fiberglass.html](http://www.germes-online.com/catalog/17/24/700/page2/fiberglass.html)

Figura 49. Casco para motociclismo fabricado en materiales compuestos.  
[www.carbonfiberhelmets.com](http://www.carbonfiberhelmets.com)

Figura 50. Silla fabricada en cartón corrugado.  
[www.returdesign.se](http://www.returdesign.se)

Figura 51. Organización atómica del aluminio  
[cst-www.nrl.navy.mil](http://cst-www.nrl.navy.mil)

Figura 52. Organización espacial de un nanotubo de carbono  
[www.fedtechgroup.com](http://www.fedtechgroup.com)

Figura 53. Cable de acero.  
[www.stewartpratt.com/gallery2/main.php?g2\\_view=core.DownloadItem&g2\\_itemId=1430&g2\\_serialNumber=2](http://www.stewartpratt.com/gallery2/main.php?g2_view=core.DownloadItem&g2_itemId=1430&g2_serialNumber=2)

Figura 54. Muro de ladrillos con agujeros y vidrio templado fracturado.  
[downtheroad.org/Asia/images/China1/DSC00052.JPG](http://downtheroad.org/Asia/images/China1/DSC00052.JPG)  
[www.bencloward.com/textures/glass\\_broken01.jpg](http://www.bencloward.com/textures/glass_broken01.jpg)

### 1.3 DESDE LOS MATERIALES

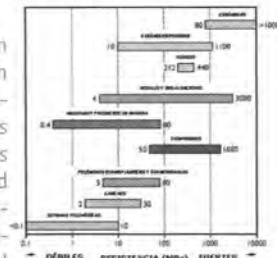
Dentro de la función estructural los materiales juegan un papel importante desde su capacidad de interactuar con las cargas. En términos específicos, esta capacidad, se evidencia a partir de un conjunto de atributos denominados atributos mecánicos. Estos atributos, entre los cuales los más importantes son la resistencia, la rigidez, la tenacidad y la resiliencia, definen la posibilidad de que un determinado material pueda ser usado en una aplicación estructural específica. Vale la pena anotar en este punto que el análisis de los materiales en función de sus atributos debe hacerse siempre a partir de una relación entre ellos (como mínimo en parejas), por ejemplo, buscar materiales con una adecuada relación entre su resistencia y su rigidez; esto con el fin de disminuir el tiempo empleado para el análisis y limitar el número de posibles candidatos para ser usados en el proyecto.

La resistencia es una propiedad que define el valor máximo de esfuerzo<sup>1)</sup> que un material es capaz de soportar antes de entrar en un estado de deformación plástica (en materiales dúctiles) o antes de fracturarse (en materiales frágiles). En los materiales dúctiles el momento en el que se pasa del comportamiento elástico al plástico se denomina cedencia, por lo que el valor de la resistencia en este tipo de materiales se denomina resistencia a la cedencia. En los materiales frágiles, donde no hay una transición entre el comportamiento elástico y otro tipo de comportamiento, el límite de trabajo se denomina resistencia última. Los valores de resistencia de un material vienen dados en mega pascales (MPa) o en libras por pulgada cuadrada (psi) que son unidades de esfuerzo (fuerza/área).

La figura 55 muestra los rangos de acción de esta propiedad en los materiales convencionales.

Es importante mencionar que dependiendo del tipo de carga externa que se aplique se generarán en el objeto dos tipos de esfuerzo: el normal y el cortante<sup>2)</sup>. En este sentido, los materiales poseen un nivel de resistencia a los esfuerzos normales diferente al valor con respecto a los esfuerzos cortantes. Por lo que la definición del tipo de cargas a las que estará sometido el objeto y sus partes, representa una etapa anterior al de la selección de materiales para la función estructural.

La rigidez se define como la capacidad que posee un material de absorber cargas externas sin deformarse más allá de un determinado límite. La variable que la define se denomina módulo de elasticidad o módulo elástico. En términos prácticos, establece cuánto se deforma un material en función de un determinado valor de esfuerzo. El concepto de módulo elástico surgió a partir de las relaciones entre las fuerzas y los alargamientos planteadas por Robert Hooke en el siglo XVII<sup>3)</sup>. Hooke estableció no sólo que existía esta relación, sino que además era proporcional y que la



constante de proporcionalidad era el módulo elástico, que es un valor constante para todo el comportamiento elástico del material. En la figura 56 se puede ver la deformación (deflexión) sufrida por las partes del gancho y del alambre que compone en resorte una vez el usuario ejerza la fuerza de apertura sobre él.

La tenacidad, denominada también tenacidad a la fractura, representa la capacidad que posee un material de absorber cargas dinámicas (impacto y/o cíclicas) sin fracturarse. Aplica tanto para materiales dúctiles como para frágiles, ya que en los primeros se sabe que bajo la acción de una carga de impacto, la falla por fractura es muy probable. También es posible definir esta variable en términos de la cantidad de energía que es capaz de absorber el material hasta su punto de fractura. Se mide en unidades de energía sobre área (kJ/m<sup>2</sup>).

La resiliencia representa la capacidad que posee un material de absorber energía sin deformarse elásticamente. Se busca cuando se requiera de aplicaciones en las cuales se deban amortiguar cargas de impacto y el sistema pueda seguir funcionando una vez haya liberado la energía almacenada. Ejemplos de estas aplicaciones son los resortes o los sistemas de soporte corporal en mobiliario. Los materiales utilizados en la llanta de la figura 57 deben tener la suficiente resiliencia como para que reemplacen por completo la capacidad de almacenar energía que poseen las llantas neumáticas.



#### 1.4 DESDE LOS FENÓMENOS FÍSICOS

El fenómeno físico más importante asociado con la función estructural es la deformación. Todos los elementos que se someten a la acción de una carga externa, independientemente de la morfología que posean y del material en que estén fabricados, se deformarán ya que no existen cuerpos completamente rígidos en la naturaleza (figura 58). La deformación es un fenómeno ampliamente estudiado en la mecánica de materiales y se ha encontrado que existen tres grandes áreas de estudio para él: cuando se produce por la acción de una carga de tipo estático, cuando se da por acción de una carga dinámica y cuando se presenta una carga que se aplica durante mucho tiempo. Por otro lado, la deformación también hay que diferenciarla cuando se analiza a nivel global o a nivel unitario.

Los mecanismos de deformación que rigen a los cuerpos sólidos se basan en el concepto de energía. Esta energía se enfoca a la cantidad de trabajo<sup>14</sup> que hacen las cargas externas cuando generan el movimiento de los átomos de los cuerpos sobre los que se aplican. En este nivel es importante diferenciar los dos tipos de consecuencias globales que tiene para un elemento el estar sometido a cargas. Por un lado se tiene lo que se denomina distorsión, es decir, cambios de configuración morfológica sin alteraciones dimensionales.

Figura 58. Espuma viscoelástica que mantiene la deformación generada por acción de la fuerza.  
www.tmp4sleep.co.uk

Figura 59. Tipos de deformación a nivel global.

<sup>14</sup>El trabajo es una forma de energía de tipo mecánica que se presenta cuando una fuerza se mueve una distancia delínea.

<sup>15</sup>La deflexión lateral producida por una fuerza axial de compresión se denomina pandeo y se da solo cuando el objeto o parte sobre el que se aplica la carga es muy esbelto, es decir mucho más largo que ancho.

<sup>16</sup>La distorsión lateral en torsión se presenta siempre y cuando el perímetro de la sección transversal no se configura de manera circular.

<sup>17</sup>Bedford, A. y Liechti, K. Mecánica de materiales. Prentice Hall. 2002. p 41.

Y por otro, el cambio dimensional sin cambio de configuración morfológica. La presencia de una u otra consecuencia dependerá de la combinación de cargas que se apliquen sobre el objeto o la parte.

La deformación vista a nivel global se clasifica en cuatro tipos: los cambios longitudinales (acortamientos y alargamientos), la distorsión lateral, la deflexión y el enrollamiento (figura 59). La presencia de uno o de otro en un objeto o parte dependerá del tipo de carga que se aplique. Así, si se tienen fuerzas de tracción el objeto se alargará, si hay fuerzas de compresión, habrá acortamiento y en algunos casos deflexión lateral<sup>15</sup>. Si las fuerzas transversales se hacen presentes, la distorsión lateral lo hará también. Con los momentos flectores se genera deflexión y con los torsores, rotación y bajo ciertas condiciones geométricas<sup>16</sup> habrá también distorsión lateral. El cálculo de este tipo de deformación se lleva a cabo a partir de relaciones entre las cargas, la morfología y el material.

Desde el nivel unitario, la deformación tiene dos tipologías. El alargamiento o acortamiento (deformación unitaria normal) y la rotación (deformación angular). Se habla de nivel unitario ya que se toma como referencia una longitud unitaria para la definición de la deformación, dando como resultado un valor independiente de la forma comparable entre diferentes objetos. En el caso de la deformación normal se habla de aumento o disminución de distancias atómicas por cada unidad de longitud (mm/mm o pulg/pulg). Si se tiene deformación angular, esta se denota por la variación en el ángulo entre dos líneas ubicadas en el objeto que eran perpendiculares antes de que éste fuera cargado<sup>17</sup>.

Si se tiene una carga de tipo estático, es decir, de aplicación lenta y de magnitud aproximadamente constante, el sistema tendrá el suficiente tiempo para absorber las fuerzas y redistribuir las deformaciones en su sección transversal a lo largo de su longitud. En estos casos es confiable la previsión del tipo de deformación que se presentará.



Figura 60. Sistema dinámico de propulsión para bicicletas diseñado por Mattias Berneth.

[www.moclococo.com](http://www.moclococo.com)

Figura 61. Ejemplos de mecanismos y aplicaciones aero e hidrodinámicas.

[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

[kbuttklen.com/images/delta%20stunt%201.JPG](http://kbuttklen.com/images/delta%20stunt%201.JPG)

[www.jacktravers.com/Graphics/forlalom.jpg](http://www.jacktravers.com/Graphics/forlalom.jpg)

Figura 62. Herramienta de mano que hace uso de un mecanismo para bloquearse y generar una alta fuerza de cierre. [www.amazon.com](http://www.amazon.com)

## 2 .LA FUNCIÓN DINÁMICA

### 2.1DESDE LAS VARIABLES FÍSICAS

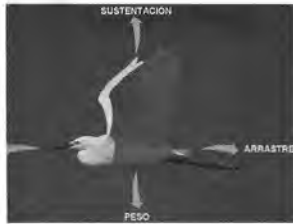
En todo sistema dinámico (mecanismo, aplicación aero o hidrodinámica) se tiene un objetivo común, generar movimiento de la manera más eficiente posible. Esto último se logra a partir de garantizar que las fuerzas de entrada al sistema sean



transformadas en un alto porcentaje en el movimiento de salida. A partir de esta idea se plantean como variables físicas más importantes a las cargas que entran al sistema y las características del movimiento que ellas generan. Para el análisis de estas variables hay que separar a los mecanismos de las aplicaciones con fluidos. Además, hay que tener claro que una aplicación dinámica se diferencia de una estructural en la medida en que en ella se presenta un cambio constante de posición entre uno o varios de las partes del objeto (figura 60), mientras que en las estructuras el sistema no debe moverse.

En este punto es importante aclarar la diferencia entre un mecanismo y un sistema aero o hidrodinámico. En el primero, las partes constituyentes se mueven unas relativamente con respecto a las otras, mientras que en los otros dos, el conjunto de partes se analizan como un ente completo que se mueve dentro o sobre un fluido. La figura 61 muestra una aplicación de los mecanismos, de los sistemas aerodinámicos y de los hidrodinámicos.

Cuando se trata de mecanismos se tienen tres tipos de cargas: las de entrada, las que se mueven al interior del sistema mecánico y las que salen del sistema. En los tres casos las cargas pueden ser fuerzas o momentos. En este punto se crea un vínculo entre los mecanismos y las estructuras. Todo mecanismo debe comportarse primero como estructura para ser capaz de transmitir las cargas de entrada y luego como mecanismo para generar movimiento con ellas. La herramienta mostrada en la figura 62 ilustra la doble funcionalidad de un mecanismo. Lo anterior exige que todos los comentarios hechos con respecto a los elementos de las estructuras sean tenidos en cuenta para el diseño de mecanismos. Además, se debe prestar atención a que en este caso es muy probable que una misma carga cambie constantemente de naturaleza, tanto desde su magnitud, dirección y/o sentido, como desde la velocidad de su aplicación, a causa de la constante variación de la posición de los elementos.



En el caso de las aplicaciones con fluidos, son cuatro las cargas, fuerzas en este caso, que se tienen en cuenta. La primera de ellas corresponde a la fuerza de entrada que la fuente de potencia ingresa al sistema; esta fuerza se denomina impulso. El impulso debe vencer una restricción natural que poseen estos sistemas para moverse dentro de un fluido. Esta restricción, que es también una fuerza, se denomina arrastre y es la segunda carga importante. Al estar diseñando un sistema para que funcione dentro de un campo gravitatorio, el peso de los objetos se convierte en la tercera carga de análisis. Y por último, todo sistema aero o hidrodinámico debe generar una fuerza que equilibre el peso con el fin de que el desplazamiento se presente de manera eficiente, esta última carga se denomina sustentación. La figura 63 ilustra los cuatro tipos de fuerzas.

En el análisis del movimiento se tienen a la posición, la trayectoria, la velocidad y la aceleración como características básicas (figura 64). En su orden, estos elementos están organizados por su nivel de complejidad en el proceso de diseño. La posición se define como la ubicación de un punto del objeto dentro de un sistema de referencia que puede ser bi o tridimensional. En los mecanismos el análisis de la posición es mucho más compleja que en las aplicaciones aero e hidrodinámicas, ya que en ellos muchas partes se mueven constantemente, mientras que en las segundas todo el conjunto de partes se mueve al unísono. Existen dos maneras de analizar la posición, en la primera se toma un instante determinado y se evalúa esta variable; en la segunda, se estudia el cambio de la posición con respecto al tiempo, esto es, la posición de un mismo punto de referencia en varios instantes durante el funcionamiento del objeto. Una excelente manera de ejemplificar el concepto de posición en un mecanismo es observar al cuerpo humano como un sistema móvil al que se le puede fotografiar periódicamente mientras realiza una acción y establecer la posición de un punto específico en el espacio (figura 65).

Cuando la posición se analiza de manera periódica y se unen los puntos encontrados por este análisis, se obtiene la trayectoria. Que no es más que una línea ubicada en el espacio que define el recorrido seguido por un punto del objeto durante su movimiento. La trayectoria puede ser continua o discontinua y seguir un patrón definido por algún tipo de disposición geométrica o por una ecuación que se obtiene a partir de procedimientos de geometría analítica. La figura 66 muestra la trayectoria rectilínea de la parte trasera unas las pinzas de agarre.

La velocidad se entiende como la razón de cambio de la posición con respecto al tiempo. También es posible definirla como la relación entre la distancia recorrida por un elemento y el tiempo que le tomó hacerlo. Puede existir velocidad lineal, cuando el movimiento es rectilíneo, y velocidad angular, cuando se analiza un objeto en rotación. Siempre es una variable que se debe manejar de manera cuantitativa. Dentro de los mecanismos se analiza la velocidad de muchos puntos a la vez, mientras que en aplicaciones aero e hidrodinámicas, se estudia solamente la velocidad del cuerpo completo.

El cambio de la velocidad en el tiempo se conoce como aceleración. La aceleración es una variable asociada al movimiento uniforme y al acelerado. Tanto la velocidad como la aceleración pueden ser magnitudes positivas o negativas. Dimensionalmente las unidades que se usan para la aceleración son los  $m/s^2$  o los  $ft/s^2$ .

En ambas aplicaciones dinámicas, aparece otra variable de importancia, la potencia. Se habla de potencia como la rata de variación del trabajo con respecto al tiempo. En un sistema mecánico la potencia se obtiene numéricamente a partir del producto de la fuerza o el momento torsor por la velocidad lineal o angular respectivamente. Numéricamente se maneja con unidades de caballos de potencia (hp) o vatios (W).



Figura 50. Fuerzas básicas de análisis en un sistema aero o hidrodinámico

Figura 51. Variables de análisis para el movimiento

Figura 52. Análisis de posición de un jugador de golf.

[i.base.com/u39/jseko/large/25461948.1555\\_2565x.jpg](http://i.base.com/u39/jseko/large/25461948.1555_2565x.jpg)

Figura 53. Trayectoria

[www.walcraft.com/images/photographs/TravelingMotion.jpg](http://www.walcraft.com/images/photographs/TravelingMotion.jpg)



## 2.2 DESDE LA MORFOLOGÍA

En las aplicaciones dinámicas, al igual que en las estáticas, la morfología juega un papel determinante. Para ellas es válido hacer la misma diferenciación conceptual en el análisis de la forma que se hizo para las estructuras y tomar en cuenta todos sus elementos. Esto es, observar primero la configuración global del sistema, pasar luego a cada uno de los componentes y por último, centrarse en las características morfológicas microscópicas del material.

### 2.2.1 2 CONFIGURACIÓN GLOBAL

Dentro de los mecanismos es importante analizar el número y la disposición espacial de elementos interconectados entre sí y de los anclajes que se tengan. La manera en que se organizan los diferentes elementos (barras y eslabones) como un todo en el mecanismo define en gran medida la eficiencia funcional de este. Esta organización se define como cadena cinemática<sup>16</sup>. La figura 67 muestra una excavadora hidráulica cuyo sistema de movimiento se articula como una cadena cinemática.

En las aplicaciones hidro y aerodinámicas la configuración global determina sobre todo el volumen contenido en el objeto y la manera en que éste se verá afectado por la fricción. Las configuraciones orgánicas combinadas en ocasiones con algunos elementos cortantes y rígidos son para estas aplicaciones una muy buena opción. En la figura 68 se muestra una bola de béisbol siendo estudiada aerodinámicamente en un túnel de viento, en ella se observa la turbulencia dejada por las costuras del objeto.

### 2.2.2 CONFIGURACIÓN LOCAL MACROSCÓPICA

Las variables morfológicas planteadas para las partes de una estructura aplican también para los componentes de una aplicación dinámica.

La morfología de cada elemento es importante en los sistemas dinámicos.

Figura 67. Ejemplo de cadena cinemática / [www.dealquip.com.au/m/m1e0.jpg](http://www.dealquip.com.au/m/m1e0.jpg)

Figura 68. Aplicación aerodinámica con configuración orgánica. / [www.fi.edu](http://www.fi.edu)

Figura 69. Configuración local de los elementos de un mecanismo complejo. [www.righttime.com](http://www.righttime.com)

Figura 70. Fenómenos físicos asociados al movimiento

<sup>16</sup>Norton, Robert L. Diseño de maquinaria. Mc Graw Hill. 1995. p 29.

Para los mecanismos el hecho de tener que moverse en una, dos o tres dimensiones, al igual que la fuerza a transmitir, influyen en la configuración de cada pieza. Es importante además, resaltar la trascendencia que tiene el hecho de que las uniones entre los elementos son generalmente móviles, por lo que las cavidades como elementos de unión y/o de anclaje se convierten en aspectos muy determinantes. En la figura 69 se observa la estructura interna de un reloj mecánico en el que la disposición espacial y configuración local de cada pieza depende del grado de precisión que se busque.

### 2.3 DESDE LOS FENÓMENOS FÍSICOS

Existen tres fenómenos físicos asociados al movimiento: la fricción, la elevación y la flotación. El primero se aplica tanto para mecanismos como para aplicaciones con fluidos, mientras que la elevación y la flotación sólo se aplican para estas últimas. Siempre que exista contacto entre dos superficies en movimiento se presentará la fricción. Y siempre que se quiera un desplazamiento sobre o dentro de un fluido se hará presente el concepto de elevación, para fluidos gaseosos, y el de flotación para fluidos líquidos. La figura 70 resume lo anterior.

La fricción es una fuerza que se genera siempre que dos superficies entran en contacto y se mueven una relativamente con respecto a la otra. Las consecuencias directas de la fricción son: la disminución de la velocidad, el desprendimiento de material (desgaste) y el calentamiento. Con la primera se genera siempre la necesidad de aumentar la potencia de entrada al sistema para poder mantener las características del movimiento. Y con el segundo se obliga a refrigerar el sistema y/o a hacer uso de mecanismos de lubricación que generen una superficie de contacto menos rugosa



La figura 71 muestra por ejemplo el análisis hidrodinámico del traje fastskin © de la compañía Speedo, en la imagen se determinan las zonas de mayor fricción a partir una comparación de colores.

Existen dos tipos de análisis para la fricción<sup>19</sup>: la estática, que se determina en el momento de iniciar el movimiento y vencer el estado estacionario, y la dinámica, que se relaciona con la continuación del movimiento. Cabe anotar que la fuerza de fricción estática es mayor que la fuerza de fricción dinámica. Para poner en movimiento un objeto se necesita aplicar mayor fuerza que la que hay que aplicar para mantener ese movimiento. La fricción depende básicamente de la fuerza perpendicular al movimiento, a las características de los materiales en contacto y a la textura de las superficies<sup>20,21</sup>, y no del área superficial que esté en contacto. Específicamente hablando del material, se tiene al coeficiente de rozamiento como variable clave para el análisis de la fricción.

La elevación de un artefacto es un fenómeno en el que interviene un equilibrio de fuerzas y se define como la ausencia de contacto entre un objeto sólido y el suelo durante un tiempo definido. Se dice que hay elevación cuando la fuerza de sustentación es mayor que el peso. Esto se puede dar por dos razones, en aplicaciones donde el movimiento sólo es ascendente o descendente, la elevación se presenta por acción de la diferencia entre las densidades del cuerpo en análisis y el aire que lo rodea (figura 72).

En los casos en los cuales se da simultáneamente un movimiento vertical y un movimiento horizontal (figura 73) la elevación se da a partir de una serie de principios de la mecánica de los fluidos basados específicamente en el principio de Bernoulli<sup>22</sup>.

La flotación por su parte es una fuerza que se genera cuando un cuerpo está sumergido en un fluido y que se opone al peso<sup>23</sup>. La flotación al igual que la elevación, puede alcanzarse de dos maneras: la primera consiste en la diferencia de densidades entre el cuerpo sumergido y el fluido que lo

rodea, cuando es mayor la densidad del fluido, el objeto flotará (figura 74), en caso contrario se hundirá. La segunda, se basa en el análisis del peso del volumen del fluido que desplaza el cuerpo al estar sumergido; si ese valor del peso es mayor que el peso del objeto como tal, éste flotará (figura 75). Lo anterior se apoya en el principio de Arquímedes<sup>24</sup>.

En algunas aplicaciones con fluidos líquidos, como en la natación o el diseño de propelas o mecanismos de impulso, el concepto de elevación se hace presente, aunque de manera levemente diferente a como las aplicaciones en gases lo manejan. La mano de un nadador cuando entra al agua, por ejemplo, actúa como una superficie que debe generar una fuerza de impulso para que la persona se mueva, en ella se aplica también el principio de Bernoulli, aunque la dirección en la cual se analiza es siempre variable. Este impulso se genera por la forma en que el nadador ubique su mano y la ingrese al agua<sup>25</sup>.

Figura 71. Análisis de fricción de un traje de natación.  
[www.fluent.com/news/pr/pr69.htm](http://www.fluent.com/news/pr/pr69.htm)

Figura 72. Globo aerostático. / [www.hotairzone.com](http://www.hotairzone.com).

<sup>19</sup>- Persson B. N. J. y Tosatti, E. *Physics of Sliding Friction*. Springer. 1995. p.2.

<sup>20</sup>- Bowden, F. P. y Tabor, D. *The Friction and Lubrication of Solids*. 2001. 374 p.

<sup>21</sup>- Pope, J. Edward. *Rules of Thumb for Mechanical Engineers*. Mc Graw Hill. p.235. 1997.

<sup>22</sup>- Persson B. N. J. *Sliding Friction: Physical Principles and Applications*. Springer. 2000. p.13.

<sup>23</sup>- Anderson, David y Eberhardt, Scott. *Understanding Flight*. Mc Graw Hill. 2001. p.15.

<sup>24</sup>- Denny, Mark. *Air and Water: The Biology and Physics of Life's Media*. Princeton University press. 1993. p.30.

<sup>25</sup>- Serway, Raymond A. y Jewett, John W. *Principles Of Physics: A Calculus-Based Text*. Thomson publishing. 2006. p.470-471.

<sup>26</sup>- Colvin, Cecil. *Breakthrough Swimming*. Human Kinetics. 2002. p.34-35.



# CONCLUSI

### 3. CONCLUSIONES

El análisis funcional de un objeto industrial desde su desempeño técnico mecánico exige al diseñador tener en cuenta una gran cantidad de conceptos de manera simultánea, que abarcan aspectos referentes con variables físicas, morfológicas, materiales y fenómenos físicos. Algunos de estos elementos se escapan de la competencia básica del diseñador industrial, por lo que se recomienda que todo proceso de diseño que se involucre con estos aspectos sea llevado a cabo por un equipo multidisciplinario de profesionales.

Metodológicamente el diseñador industrial deberá identificar en principio las variables físicas con las cuales interactuará el objeto, con ellas definir el tipo de función. Luego, establecer qué elementos morfológicos y cuáles propiedades de los materiales intervendrán en el proceso de diseño a partir de los fenómenos físicos. Analizando específicamente la morfología se evidencia que su estudio desde los tres campos tratados, la configuración global, la configuración local macroscópica y la configuración local microscópica, representa para el diseño industrial una herramienta valiosa y poderosa. Esta propuesta separa en campos funcionalmente diferentes el manejo de las variables formales del proyecto permitiendo definir para cada una su responsabilidad en el desempeño general del objeto.

Para completar el desarrollo del análisis morfológico completo de un objeto industrial que vaya a desempeñar una función técnica mecánica se requiere del planteamiento de las relaciones que se establecen entre los elementos; estas relaciones son el tema del tercer artículo.

# FORMAS

## 4. REFERENCIAS

- Eves, Howard. Foundations and fundamental concepts of mathematics. Dover publications inc. 1990. 362p.
- Hartshorne, Robin. Geometry: Euclid and beyond. Springer. 2000. 532p.
- Sierra, Fernando. Por qué mirar la naturaleza. En: Iconofacto. Vol. 1. Nº 1. Julio, 2005. 110p.
- Lodato, Franco. Biónica: La naturaleza como herramienta de innovación. En: Experimenta. Nº 31. octubre, 2000. p 46-51.
- Podborschi, Valeriu y Vaculenco, Maxim. Study of natural forms – the source of inspiration in the product design. En: dpr.unitbv.ro/adept/asi/C1-6.pdf. Consulta 11/08/06.
- Khor, H.C. et al. Mechanisms of fracturing in structures built from topologically interlocked blocks. Structural Integrity and Fracture; Proceedings of the International Conference, SIF 2004.
- Hibbler, R. C. Mechanics of materials. Fourth edition. Prentice Hall. 2000. 848p.
- Gibilisco, Stan. Trigonometry Demystified. Mc Graw Hill. 2003. 303 p.
- Timoshenko, Stephen P. History of Strength of Materials. Dover publications, inc. 1953. 452p.
- Bedford, A. y Liechti, K. Mecánica de materiales. Prentice Hall. 2002. 627p.
- Norton, Robert L. Diseño de maquinaria. Mc Graw Hill. 1995. 1048p.
- Persson B. N. J. y Tosatti, E. Physics of Sliding Friction. Springer. 1995. 476p.
- Bowden, F. P. y Tabor, D. The Friction and Lubrication of Solids. 2001. 374 p.
- Pope, J. Edward. Rules of Thumb for Mechanical Engineers. Mc Graw Hill. p 235. 1997.
- Persson B. N. J. Sliding Friction: Physical Principles and Applications. Springer. 2000. p 13.
- Anderson, David y Eberhardt, Scott. Understanding Flight. Mc Graw Hill. 2001. 320p.
- Denny, Mark. Air and Water: The Biology and Physics of Life's Media. Princeton University press. 1993. 360p.
- Serway, Raymond A. y Jewett, John W. Principles Of Physics: A Calculus-Based Text. Thomson publishing. 2006. 1216p.
- Colwin, Cecil. Breakthrough Swimming. Human Kinetics. 2002. 262p.

REF