

Capítulo 5

PROPORCIÓN Y RITMO

FUNDAMENTOS DEL DISEÑO

R. G. SCOTT

Cierta vez, abordé el análisis de los problemas de la proporción preguntando a la clase qué significaba esa palabra para ellos. Pensaron en silencio. Por fin una alumna valiente contestó: “Ah, es eso de A es a B”. La proporción y el ritmo son ideas perfectamente familiares, no obstante lo cual resultan difíciles de definir, en particular a lo que concierne en su relación con el diseño. El diccionario nos da un punto de partida Collegiate de Webster define la proporción como “la relación en magnitud, cantidad o grado de uno con otro; razón” y ritmo, como “movimiento marcado por una recurrencia regular, periodicidad”.

Pienso que lo mejor será dejar que el significado de ambos términos surja de nuestro estudio, en lugar de intentar ahora una definición formal. Pero sí es indispensable tener una idea clara de la dirección que hemos de adoptar. La razón implica comparación entre factores similares. La idea central en el ritmo es la recurrencia esperada. Intentemos ahora encontrar sus manifestaciones en la trama del diseño.

FUNDAMENTOS ORGANICOS DE LA PROPORCION Y EL RITMO

Al igual que el esquema de movimiento y el equilibrio, ambas cualidades están siempre presentes en las formas orgánicas de la naturaleza. Constituyen expresiones de las mismas fuerzas internas y externas de crecimiento que analizamos en el capítulo precedente. Proseguiremos con dicha analogía: es la mejor guía para comprender su naturaleza y su función en el diseño.

Cualquiera sea el nivel a que se comience- sea el atómico o el cósmico, o cualquier intermedio- la proporción y el ritmo figuran entre las características más notables de las formas naturales. Sigue siendo cierto que los noventa y dos elementos originales constituyen el núcleo de las ilimitadas sustancias que conocemos. La diferencia en la proporción y la disposición de los mismos elementos constituye nuestro mundo. Si quemamos hidrógeno, un gas en oxígeno, otro gas, ambos se unen para formar agua. La molécula de agua siempre está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. En su estado líquido, el agua es amorfa. Si la solidificamos como ocurre en un copo de nieve, la estructura intrínseca adopta forma visible en la que tanto la proporción como el ritmo son evidentes. Sir William Bragg escribió: “El orden y la regularidad son la consecuencia de la realización completa de las atracciones que los átomos y las moléculas ejercen mutuamente”¹. Los cristales de hielo constituyen un buen ejemplo de este hecho. La unidad básica

¹ Sir William Bragg. Concerning de Nature of Things, Harper & Brothers, New York, 1925.

está compuesta por cuatro moléculas cuya estructura aparece diagramada en la ilustración. Estos diminutos granos de cristal se combinan en los infinitos esquemas de los copos de nieve. La multiplicidad de tales formas constituye siempre una variación sobre un solo tema: la unidad de la estructura del cristal. Como ven la naturaleza misma de la forma impone la razón. Esta se expresa a través del tamaño y el número de partes, de los grados angulares del tronco y de las ramas. Tales razones a su vez crean recurrencias rítmicas de las configuraciones, los tamaños y los acentos.

El otro ejemplo, tomado asimismo del reino de lo orgánico, es más complejo. Aparece aquí el mismo principio: la vida comienza con una única célula generadora fértil. Esta se divide en dos células, las que luego se dividen en cuatro y así sucesivamente en progresión geométrica. En todos los organismos superiores, esta simple progresión no constituye la totalidad del proceso. En una etapa del comienzo del crecimiento, algo nuevo se produce: aparece la especialización para la función. La estructura en el interior de los cromosomas al igual que las atracciones intrínsecas de los átomos y de las moléculas, controla el crecimiento: provoca una mayor división de células en una dirección, un crecimiento más lento en otra. Modifica la estructura de las células mismas para adaptarlas a una función.

Estudiemos la hoja de napelo, aún una observación casual revela dos procesos especializados evidentes: las placas de células superficiales cargadas de clorofila que transmiten la función vital de la fotosíntesis, y las nervaduras y venas que la sustentan. Existe entre éstas, y también entre las partes en que se divide la estructura una razón perfectamente evidente. He aplicado algunas nociones de matemática a la fotografía. Uniendo los puntos en que se produce la ramificación, dispuestos a lo largo de los ejes principales de la hoja, descubrimos la razón común en todas las partes. La recurrencia de configuraciones y ángulos resulta obvia y la proporción y el ritmo se revelan como las expresiones inevitables del crecimiento. (pag. 52-54)

RITMO

Hasta ahora sólo hemos sugerido que el ritmo está estrechamente relacionado con la razón y lo hemos visto surgir de las inevitables razones de crecimiento en la naturaleza. Ha llegado el momento de ser más específicos sobre lo que entendemos por ritmo y acerca de cómo actúa.

El ritmo difiere de la repetición simple en un sentido: es una recurrencia esperada. El término "ritmo" se ha tomado del arte afín de la música. En este, la secuencia de tonos se suceden unas a otras en el tiempo. En los diseños visuales físicamente estáticos, el movimiento es subjetivo, pero no por ello menos real. El ejemplo más simple sería el de una serie regular de configuraciones con igual intervalo entre ellas. (Obsérvese que son necesarias tres repeticiones para establecer tal intervalo. En otras palabras tres términos es lo mínimo para construir una serie). Una columnata, con sus impactos repetidos de sólidos y vacíos, ofrece este esquema. Crea un ritmo. No podemos modificar el tamaño de las columnas o de los intervalos de espacio sin perturbar nuestra expectativa de la recurrencia.

ORDEN SUCESIVO DE PROGRESIÓN Y ALTERNACIÓN

Sin embargo, un ritmo tan simple no es más que el principio de las posibilidades. En primer lugar existen dos clases de recurrencias. En vez de repetir la misma unidad o idéntico intervalo, podemos introducir una progresión regular en uno o en ambos términos, aumentar la altura o el ancho de las unidades por medio de una cantidad proporcionada o modificar los intervalos de menciones visuales, tales como configuración, tamaño, tono, textura visual. El resultado es una aceleración o retardo del movimiento con un tipo más complejo de ritmo, o bien puede aplicarse eficazmente una alternación entre dos motivos, es decir en más formas, colores o intervalos contratantes. También aquí el resultado es un ritmo más complejo.

Tales posibilidades para crear ritmos visuales, asimismo obvias. Prácticamente todas las formas naturales constituyen una prueba de su enorme eficacia. Basta estudiar la ilustración de la forma flor para ver cuántos ritmos diferentes de repetición, progresión y alternación aparecen en ella.

RITMO OCULTO

Pero la posibilidad más interesante es mucho más sutil. Aparecen aquí diferencias similares a las que enastan entre el equilibrio explícito y el oculto. También el ritmo puede estar oculto, por así decirlo. Me refiero a que se reiteran no solo las formas y los colores obvios, sino también todo el sistema de las relaciones. Ello aclara la sutil relación existente entre ritmo y razón. De esa manera se puede unificar toda una composición por medio de sistemas de razones entrelazados de modo que el mismo ritmo aparecerá infinitamente variado en todos los elementos.

El Partenón constituye un ejemplo, en el cual el ritmo se expresa principalmente a través de tamaños y configuraciones. Su composición nos lleva nuevamente a la geometría. Es significativo que el plan del templo dórico se trazara antes de la época en que Ictinus y Callicrates diseñaran su obra maestra. Podemos seguir los rastros de la búsqueda progresiva de la expresión de un ritmo tan perfecto a través de la serie de templos en Sicilia hasta el Partenón: Todo el genio inventivo se concentró en este problema.

Estudiemos la fachada del Partenón. La envoltura formal. Determinada por el ancho del frontón y la altura de la parte superior del entablamento, es un rectángulo de sección de oro. Recuerden que las partes generadoras de esta forma son el cuadrado más otro rectángulo de sección de oro. La principal división horizontal, el fondo del arquitrabe está ubicada en la intersección de las diagonales de la configuración total y de los cuadrados construidos en ambos extremos de aquella. Dicha línea divide la configuración total en dos grandes cuadrados, con un rectángulo vertical de sección de oro por debajo, y un pequeño cuadrado central flanqueado por dos rectángulos horizontales de sección de oro por arriba. Las líneas de construcción indican la posición de las otras divisiones mayores, horizontal y vertical. Las mismas razones, expresadas en el cuadrado y en el rectángulo de sección de oro, aparecen en cada uno de los detalles, desde la totalidad hasta la más diminuta de las

partes. El resultado es una estructura unificada por el mismo ritmo orgánico de crecimiento que poseen las formas de la naturaleza. El Partenón actúa con ritmos visuales de razones de configuración y tamaño. La misma sutil organización puede expresarse en todas las cualidades visuales de un diseño. (pag. 67-68)

PREDOMINIO Y SUBORDINACIÓN

Todo esto nos conduce a una última cuestión. El complemento inevitable de tal esquema de ritmo es la proporción en la importancia relativa de sus diversos elementos. Aún en una simple columnata, su forma simétrica da por resultado el predominio del eje. Tal principio de proporción es el valor, por el cual es valor por el cual algunas partes son dominantes y otras se subordinan, es de máxima importancia cuando el esquema es rico en ritmos diverso. Es fácil ver la relación que existe entre esto y los circuitos de movimiento y el equilibrio. Una vez más estamos frente a la inevitable relación de cada parte del problema del diseño con todas las otras. Diseñar es como nadar: es posible analizar la patada, la brazada, la respiración y, hasta cierto punto, practicarlos artificialmente separados fuera del agua. Pero en el momento de nadar, forman parte de una sola acción, en la que cada movimiento contribuye a la unidad que es el nadar. Si no están relacionados, no es posible comprender esos movimientos y mucho menos dominarlos.

El esquema de movimiento, el equilibrio, la proporción y el ritmo contribuyen a la unidad de un diseño. El análisis nos permite una comprensión más clara de todos ellos, pero solo en la práctica del diseño llegaremos a dominarlos, es decir trabajando con todos los factores de la relación. (Pág. 69)

RITMO

Léxico técnico de las artes Plásticas

Crespi – Ferrario

Ritmo. “Periodicidad percibida”. Movimiento virtual provocado a través de la percepción de acentos y pausas o intervalos. Estos acentos son factores que repiten, crecen, alternan o desaparecen y se manifiestan siempre relacionados entre sí y con un silencio. El ritmo presenta siempre una recurrencia esperada y cambiante en las variables, que difiere de la repetición (V) regular. Puede ser simple limitado a una u otra medida de diferencias ópticas, o compuesto, con dos o más medidas coexistiendo legítimamente. Acentos y pausas provocan una unidad dinámica y determinan un orden de tiempo. La variación rítmica puede darse a través de los diversos medios plásticos. El ritmo es también un elemento ligado a las distintas razones matemáticas, en este caso se hace manifiesto, no explícitamente sino oculto bajo todo un sistema de relaciones. Así es que puede unificarse una composición por medio de diversas razones combinadas, de modo que el ritmo se enriquece pues aparece con variaciones con los elementos del todo.

El ritmo no constituye una sensación visual aislada, por el contrario establece el orden en un conjunto temporal mayor, entendiéndose que si una obra plástica es quieta, el ordenamiento rítmico establece una relación de movimiento sugerido entre las partes de la unidad plástica (fig. 64 a y b)

Ritmo de áreas. Se refiere a la distribución rítmica de formas blancas y negras, las que por su marcado contraste presentan inconvenientes de armonización. Una progresión rítmica de tamaños en las áreas permite obtener tal armonía.

Si se aumenta el número de valores sobre la superficie manteniendo la distribución rítmica, se reduce marcadamente la dificultad de relacionar áreas claras y oscuras, ya que aparece el sentido de gradación. (V) Gradiente.

EQUILIBRIO: Fuerzas opuestas en unidad. Semejanza en el énfasis (V.) de los elementos. Distribución de partes por la cual el todo ha llegado a una situación de reposo. No obstante, la idea de fuerza y dirección por lo tanto también movimiento (V.)

Según, la física, el equilibrio es el estado de un cuerpo en el cual las fuerzas que operan en él, se compensan mutuamente.

Esta noción recibe cabida también en el arte mediante la percepción. Así como en el campo de la física se habla de fuerzas, ejes, puntos de equilibrio, fulcro, centro de gravedad, etcétera, así en el arte los distintos factores psicológicos determinantes del equilibrio reciben similar denominación y concepto.

Sin embargo ello no implica que rijan las mismas leyes: la imagen fotográfica de una figura humana en acción puede aparecer falta de equilibrio no obstante hallarse en la realidad en una posición estable; por el contrario un

objeto escultórico puede necesitar de un artificio para sostenerse en equilibrio físico y sin embargo aparecer visualmente estable.

Es obvio entonces que los valores perceptuales no guardan necesaria correspondencia con los factores propios del equilibrio físico.

El equilibrio perceptual es un factor formal de primera magnitud y parece originarse en la distribución compensada de fuerzas fisiológicas del área cortical correspondiente.

En la pintura el equilibrio está referido a los bordes o marco del cuadro. De acuerdo a este se crea un campo visual limitado, sujeto a las reglas del llamado mapa estructural (v.).

En la escultura en cualquier trabajo carente de marco, el eje o el centro está referido a la propia obra y sus relaciones con el campo ambiental que la contiene. En una composición equilibrada se manifiesta una íntima coherencia entre el todo y las partes, tanto que parece imposible alterar, aunque sea ligeramente, la ubicación de uno de sus componentes.

El equilibrio se relaciona principalmente con el peso compositivo (v.), la dirección (v.) y la anisotropía (v.) y con las leyes y postulados de la armonía (v.) estética.

Dice Arnheim al respecto “una composición desequilibrada luce arbitraria y transitoria y por consiguiente es inválida

RITMO

Organización de la secuencia óptica

Kepes, Gregory en “El Lenguaje de la Visión”

Pero la significación del ritmo rebasa con mucho el material basto del placer en el ahorro de energía. El ritmo no puede ser aprendido como una sensación visual aislada. Su significado mismo reside en el hecho de que constituye un orden de un todo temporal más grande. El ahorro de energías mentales al juzgar las medidas fisiológicas necesarias solo tiene sentido en relación con el conjunto del proceso de construcción de la imagen.

Cuando se ha reconocido un metro de acentos y pausas, se forma una unidad dinámica, un orden que liga el tiempo. Arriba y abajo, a la izquierda y a la derecha, recto y curvo, claro y oscuro, pequeño y grande, condensación y rarefacción, así como otras características ópticas están ligadas por una medida común, constituyendo una sucesión orgánica que traba la atención en un fluir ininterrumpido hasta que todas las relaciones llegan a ser una unidad. Ya hace mucho que Plotino expuso correctamente esta verdad. He aquí lo que escribió:

“¿Qué es lo que te atrae cuando contemplas algo, lo que te impresiona, te cautiva y te llena de júbilo? Puedo decir que todos estamos de acuerdo en que la relación mutua entre las partes y la relación de las partes con el todo, con el elemento complementario de la belleza del color, que constituye la belleza según la percibe el ojo: en otras palabras que la belleza, en las cosas visibles como en todo lo demás, consiste en la simetría y la proporción.”

La modelación rítmica de la superficie gráfica puede existir en tantos niveles como las diferenciaciones del campo visual. Si una superficie admite cualquier subdivisión se repite su forma o su propio tamaño en una forma más pequeña, se alcanza un orden geométrico simple. Esta subdivisión implica tamaños, posiciones, direcciones e intervalos. Cuando se relaciona la medida ordenada con sus divisiones ópticas con su movimiento virtual desde y hacia el plano gráfico que llega a un nivel más elevado de ritmo. Tenemos entonces un ritmo una modelación de las fuerzas plásticas, un cambio regular de la sensación de los movimientos espaciales de colores y valores; adelante, atrás, dilatación, contracción, hacia arriba, hacia abajo, a la izquierda y a la derecha.

Por último, podríamos tener cambios ordenados o repeticiones más complejas de la experiencia de la experiencia visual; el orden rítmico de tensión y reposo, de concentración y rarefacción, de armonía y discordia. El ritmo puede ser simple, reduciéndose a uno u otro metro de las diferencias ópticas. También puede ser compuesto formado por una o más metros que varíen correlativamente y existan simultáneamente. Los ritmos pueden corresponderse entre sí y amplificarse o bien pueden oponerse entre sí dando lugar aun nivel más alto de configuración rítmica.

Prácticamente no se sabe de ninguna cultura en que el ritmo visual no fuera concebido por lo menos en una u otra forma. Sin embargo en el pasado se concentró el interés más que nada en una escala estática de la proporción

geométrica. No se entendía al ritmo como resultado orgánico de una organización sensorial dinámica sino que se la consideraba la representación de determinados metros absolutos observados en la naturaleza visible o deducidos mediante cálculos matemáticos. Ciertas proporciones observadas en el cuerpo humano, en las formaciones cristalinas, en las hojas, fueron aprovechadas mediante subdivisiones correspondientes de superficie gráfica. En la superficie gráfica se petrificaron ritmos de crecimiento y función ajenos al crecimiento y la función de la organización visual, los movimientos de las fuerzas plásticas.

Hubo, empero excepciones. Los tejidos peruanos precolombinos fueron concebidos con un saludable respeto hacia el ritmo intrínseco en el proceso dinámico de organización visual. Mediante un cuidadoso intercambio de las líneas, las formas y los colores, el ritmo del tiempo es trasladado al espacio. Franz Boas, que ha descrito estos diseños, dice al respecto:

“En muchos tejidos vemos dibujos que consisten en una distribución en diagonal, se presenta el dibujo en diversas posiciones. Si uno mira a la derecha, el siguiente mira a la izquierda. Al mismo tiempo hay una alternación de colores, de modo que incluso cuando la forma es la misma, los tintes y los valores cromáticos, no serán los mismos”.²

Tras un estéril enfoque estático del ordenamiento rítmico de la superficie gráfica en el siglo pasado Seurat estableció el ritmo en un nivel dinámico. Fusionó formas, colores y tamaños en una unidad rítmica mediante una interacción esmeradamente planteada de direcciones horizontales y verticales, de líneas rectas y curvas y de los movimientos de avance y retroceso de los colores.

Mondrian y Van Doesburg llevaron este principio dinámico del ritmo a su purificación definitiva y su máxima intensidad. Como escribe Mondrian, al reducir la superficie gráfica de los opuestos básicos –colores puros, formas elementales y direcciones horizontales y verticales- y al eliminar toda semejanza con el mundo objetivo familiar, el arte ha conseguido ahora al establecer una expresión plástica, “la nítida realización del ritmo liberado y universal que está deformado y oculto en el ritmo particular de la forma que limita”.

La invención del cine abrió el camino hacia una organización rítmica de alcance y flexibilidad antes insospechable. Las nuevas posibilidades de sincronización de la estructura temporal y espacial de la visión apenas se ha rozado, empero de los pocos que se atrevieron a encararse con este problema. Viking Eggeling y Hans Richter son quienes hicieron las contribuciones iniciales y más importantes tanto teórica como prácticamente. Al escribir que “lo que hay que captar y modelar son las cosas en su fluir”, Eggeling apuntaba al centro mismo de toda organización visual.

FORMA Y SIMETRÍA
K.L WOLF –D. KUHN

² La cita procede de su obra *Primitive Art* (Dover, 1955. Pág. 38), de la cual el lector puede consultar la versión castellana con el título de *El arte primitivo* editado por el Fondo de Cultura Económica. México.

La palabra simetría proviene de griego *symmetros* –que significa mensurado, adecuado, proporcionado, de proporción adecuada, de medida conveniente o también en el momento oportuno- , e indica la posición que ocupan las partes de un todo entre sí. La simetría está dada por la relación (bella) de una parte con otra y de las partes con el todo. Su expresión manifiesta se encuentra en la repetición regular de motivos y circunstancias similares o iguales, parecidas o afines. La simetría provee la base natural para un ordenamiento sistemático de la variedad de todas las formas³

Las partes elementales de la observación de la simetría ya no son figuras (espaciales, temporales u otras), relacionadas simétricamente entre sí, sino “motivos”. Se denomina muestra elemental el agrupamiento más pequeño de motivos que determina toda la simetría (fig. 1)⁴. Así como el átomo o molécula de una sustancia es el individuo⁵ de una sustancia, la muestra elemental es el individuo de una sustancia simétrica y es similar a la célula elemental, que es el individuo constituyente del reticulado espacial.

Para evidenciar la simetría se utilizan operaciones de superposición. Por medio de estas operaciones o movimientos, las cosas cuya simetría se desea analizar se superponen consigo mismas, mediante convenientes cambios de posición

Estas operaciones proporcionan los recursos metódicos necesarios para el estudio de la simetría, y cumplen dentro de ella una función similar a la que desempeñan las operaciones elementales en álgebra. Para el estudio de la simetría se utilizan, en forma análoga al álgebra, los recursos de las matemáticas (“teoría de los grupos”) ⁶ y de acuerdo con sus métodos la simetría estructura y clasifica la variedad de posibles formas efectivas, teniendo en cuenta su clase y cantidad.

Los verdaderos órganos de simetría⁷, son aquellas figuras geométricas como planos o rectas, que producen las operaciones de superposición. Por ejemplo un octógono regular, la recta perpendicular a su plano y que pasa por

³ Véase también la definición de K.L. Wolf en “ Harmonie, simetrie y bauplan” *Estrae zurchristlichen Philosophie* 1943, 3º fasc. Pág. 23: “Simetría significa una armonización de diferentes partes de un todo, está dada por la relación (bella) de una parte con otra y de las partes con el todo; se expresa ante todo en la repetición de lo igual, ya sea que en un determinado objeto se repita un motivo o una actitud o que se puedan igualar ampliamente objetos diferentes. Si la forma es lo que da vida e importancia a la idea de lo bello, entonces se encuentra simetría en todos aquellos casos en los cuales las ideas se manifiestan en la materia.” Véase también: K.L. Wolf y D. Kuhn y R. Wolf “Symetrie y Polarität. Séudium Generale, 1949, t. 2, Nº 4 y 5, pág. 213: “La simetría está dada por la relación (bella) de una parte con la otra y de las partes con el todo, y se exterioriza en la repetición (espacial y temporal) de elementos, motivos y actitudes similares”.

⁴ El motivo es análogo a las partículas elementales de las sustancias (electrón, protón, neutrón), las cuales ya no son sustancias; la muestra elemental es análoga al átomo (o molécula), en el dominio de la materia, como agrupamiento mínimo de partículas elementales que determinan completamente el ser de una sustancia. Véase también K. L. Wolf *Theorie ische Chemie*, Leipzig, 1953, 3º ed.

⁵ Sobre el concepto general de individuo y de átomo, como también sobre el uso del átomo y la molécula, Véase K.L. Wolf, “Zur Systematik der organismischen Verbindungen”, *Hefte Zur Morphologie*, Weimar, 1953.

⁶ Véase por ejemplo : A. Speiser, *Theorie der Gruppen endlicher Ordnung*, Berlin, 1927, 2º edición

⁷ Los órganos de simetría se denominan tradicionalmente “elementos de simetría”.

el centro de la figura es órgano de simetría (eje de rotación de orden 8 con el símbolo d_8); las correspondientes operaciones de superposición son rotaciones de 45° y sus múltiplos.

CAPITULO II

EL SISTEMA DE LOS CUERPOS SIMÉTRICOS

Forma y simetría

K. L. Wolf y Kuhm

1. Grupos principales. El plan de la formación de la simetría está determinado por el ordenamiento de los órganos de simetría según su especie, posición y número, y caracteriza la clase de simetría

Con el conocimiento de todos los órganos de simetría, o sea de todas las operaciones de superposición (simples y compuestas) y sus combinaciones se puede llegar a un conocimiento de todas las clases y los números de simetrías posibles, y a una sistemática de los *cuerpos simétricos*, por medio de una conveniente ordenación y selección

Los cuerpos simétricos se clasifican según los cuerpos de simetría, que pueden ser puntiformes, rectos y planos (*ortosimétricos*), o curvos (*kyrtosimétricos*)

La subdivisión sistemática se basa en el grado de parentesco que exista entre las muestras elementales⁸.

En la *simetría Isométrica*, los motivos no son distinguibles entre sí y su disposición se repite uniformemente (por ejemplo las figuras de la red plana de la fig. 2)

El conjunto está determinado por el carácter de los motivos y la posición relativa que ocupan entre sí. Esta clase de simetría se llama isométrica debido a la igualdad de los motivos y a su repetición regular.

En la *simetría homeométrica*, los motivos son semejantes entre sí (por ejemplo de igual forma pero de diferente tamaño) y aumentan o se repiten en sucesión monótona, de manera tal que un motivo se modifica con respecto al siguiente en tamaño, posición o situación, según una ley cualquiera. (Se da, como ejemplo, una serie de circunferencias inscriptas en un ángulo y tangentes entre sí, fig. 3.) El conjunto está definido por la variación de su repetición. Llamamos homeometría a esta clase de simetría; pero también se puede hablar de simetría diferencial, porque hay una repetición de variaciones iguales.

En la *simetría catamétrica*, los motivos no tienen (con respecto a su configuración en el espacio y en el tiempo) igual forma y tamaño; pero están vinculados entre sí por una relación común, o sus formas continúan siendo análogas, y su sucesión está vinculada por una ley (por ejemplo la sucesión de polígonos regulares referidos a la circunferencia, y ordenados según el número de vértices, fig. 4)

Según la clase y grado de analogía, existe una gradación que va desde la isometría hasta la homeometría y de esta a simetrías cada vez más generales (o de grado inferior)

Se dice que hay ametría cuando los motivos no son de ningún modo iguales, parecidos o afines, ni están relacionados entre sí; es decir que no hay simetría de ninguna especie.

⁸ El escalonamiento completo se encuentra en K.L Wolf y otros, "Symmetri und Polarität", Studium Generale, 1949, t. 2, N° 4 y 5, pág. 214.

La isometría, la homeometría y los grados inferiores de la simetría abarcan y articulan todo el grado de la orto y la kurtosimetría. Cuando la simetría se manifiesta como repetición de algo igual o algo variado (parecido, análogo) según una determinada ley, o sea que está comprendida dentro de la homeometría y katametria (afinidad de figuras), abarca también en oposición de lo diferente, una clase de polaridad. Esto se debe a que en dos direcciones opuestas, al menos se enfrenta lo contrastante (opuesto), en figura posición o comportamiento, y que está ligado consecuentemente por lo parecido (por ejemplo el punto como la menor y la recta como la mayor circunferencia en la Fig. 3), de tal manera que en el campo de la homeometría, por principio siempre hay *polaridad*.⁹

2. Las operaciones de superposición y su composición. La observación ulterior de los cuerpos ortosimétricos Hace necesaria una discusión detallada con el objeto de averiguar la clase y cantidad de los órganos de simetría puntiformes, rectos o planos, y de las operaciones de superposición (es decir las transformaciones en las cuales se basan las operaciones de superposición). En la tabla 1 pág. 12 y 13) se *dan todas las operaciones de superposición ortosimétricas simples* y los órganos de simetría correspondientes:

1. *Identidad* (i). Es la representación invariada del objeto sobre sí mismo. Toda figura de forma constante posee esta clase de simetría. La operación de superposición se puede describir como una rotación de 0° a 360° alrededor de un punto de identidad (I)

2. *Traslación* (t) La traslación es un corrimiento simple en línea recta. Como ejemplo, la traslación de un tramo de vía de ferrocarril en uno o más durmientes a lo largo de un eje longitudinal denominado eje de traslación o de deslizamiento (t). La longitud mínima con que hay que trasladar dicho tramo de vía para llegar a la superposición (la distancia entre los durmientes sucesivos) se llama longitud de identidad, longitud de traslación o período. Cómo operación de de superposición, la traslación solo tiene interés para aquellas figuras simétricas que presentan una repetición infinita. ("rapport"¹⁰ infinito, ninguna limitación), por lo menos en una dirección.

3. *Rotación* (r) ¹¹. La rotación es el giro del cuerpo alrededor de un eje, el eje de rotación. (R)

⁹ Véase la definición de polaridad para el dominio de la botánica, en W. Troll, Allgemeine Botanik, Stuttgart, 1948, pág. 85.

(N. de T.: Polaridad es la formación diferenciada de los extremos opuestos (polos) del eje de un cuerpo. En filosofía: oposición en la que un extremo implica y complementa al otro)

¹⁰ Rapport es la repetición regular de un motivo dentro de un plano articulado ornamentalmente; p. ej. alfombras empapelados, (N. de T.)

¹¹ Una rotación puede reemplazarse, por principio, por dos reflexiones especulares acopladas, y tendría entonces el símbolo s. Como en esta operación de las dos reflexiones resultó un movimiento simple, se lo puede denominar, independientemente rotación r. Sobre la así llamada ley de los planos de reflexión especular como "elemento universal de simetría", véase P. Niggli, Mineralogie und Kristallchemie, Berlín, 1941. 3° ed. 1° parte. Pág. 29.

La cantidad de posiciones de superposición que recorre el cuerpo antes de volver a su posición inicial (identidad), da el orden de la rotación. Por ejemplo un cuadrado tiene, además de otros órganos de simetría, un eje de rotación de orden 4, R, que pasa por el centro y es perpendicular a su plano. La rotación también es una operación de superposición de “rapport” infinito, con tal que se pueda repetir el giro correspondiente tanto como se quiera y se llegue siempre de nuevo a la superposición. A diferencia de la traslación existe una limitación, a pesar del “rapport” infinito.

Los ejes de rotación de orden dos se distinguen de los de orden mayor porque son ejes de abatimiento (K), y son los únicos que producen rotaciones en las cuales cada dirección espacial del cuerpo se superpone a sí misma (fig. 5)

4. *Reflexión especular* (S). La reflexión especular no es un movimiento propiamente dicho, como las dos organizaciones interiores, sino un retrato bilateral en el que se invierten los lados. Puede efectuarse según los ejes o planos (S) del cuerpo considerado. Para la recepción humana parece ser más notable la reflexión especular con el espejo en posición vertical, que aquella en que está en posición horizontal.

Los motivos, las longitudes de identidad y los ángulos de rotación son las invariantes de la isometría. La identidad, traslación y rotación son operaciones de superposición de primera especie y se pueden contraponer a la reflexión especular, que es una operación de superposición de segunda especie, todo cuerpo simétrico que solo posee punto de identidad, eje de traslación y eje de rotación siempre tiene una imagen especular diferente de sí misma, con la que únicamente llegará a superponerse por medio de una operación de segunda especie.¹²

5. *Extensión* € La extensión es una variación o multiplicación monótona del motivo, desde un punto singular o un punto de extensión €, y en el cual el motivo permanece semejante a sí mismo. Así un conjunto de circunferencias concéntricas cuyos radios crecen con regularidad.

Todas las operaciones de superposición iso y homeométricas simples existentes son: identidad, traslación, rotación reflexión especular y extensión.

No es necesario que sobre un cuerpo exista una sola operación de superposición, sino que pueden aparecer varias (una mesa cuadrada tiene, por ejemplo, rotaciones y reflexiones especulares). Están entonces, como en el ejemplo recién dado, combinadas de tal modo entre sí que cada una, considerada como una, considerada como operación aislada, conduce a la superposición y, por consiguiente permanece independiente (combinación de operaciones de superposición), o si no están acopladas de tal manera individualmente latentes- que solamente juntas llevan a cabo las operaciones de superposición). Una operación de este tipo es por ejemplo la reflexión traslatoria (ts) que resulta del acoplamiento de una traslación y una reflexión

¹² J.Nicolls.*La symetrie et ses aplicatios, Paris a Michel* 1950,pág.51”La propiedad fundamental de la simetría especular es que da una figura distinta, en su orientación de la figura primitiva y que repetida por segunda vez, devuelve la figura primitiva. En este sentido la simetría especular es una figura de involución” (N. de T.)

especular. Esta aparece cuando, además de una traslación simple, de longitud de identidad a , se necesita para llegar a la superposición una traslación con una distancia de repetición $a/2$, unida a una reflexión especular simultánea. Una reflexión traslatoria aparece, por ejemplo en una senoide regular; en este caso, no llevan a la superposición ni la traslación simple de valor $a/2$ ni la reflexión según su eje longitudinal por separado. Como dos reflexiones traslatorias de período $a/2$ ni la reflexión según su eje longitudinal por separado. Como dos reflexiones de período $a/2$ implican una reflexión sobre el eje del período a , la reflexión traslatoria está siempre combinada con una reflexión independiente de período a . el eje de traslación (T) pertenece al plano de la reflexión traslatoria.

El estudio de todas las posibilidades de combinación de las operaciones de superposición simples conduce a una recopilación completa de las operaciones de superposición acopladas. Solo existe la necesidad de considerar los acoplamientos en los que cada operación de superposición simple está contenida una sola vez. Ya que si se acoplan por ejemplo, dos traslaciones de direcciones diferentes se las puede reemplazar por una sola en la dirección resultante. Al acoplar dos rotaciones aparece otra rotación. La unión de reflexiones especulares produce una rotación si el número de reflexiones es par; y rotación con reflexión especular (reflexión rotatoria) si es impar.

Las operaciones de superposición acopladas independientes (ver tabla uno) son las que se, mencionan a continuación.¹³

6- *Movimiento helicoidal (tr)* o rotación traslatoria. Es el acoplamiento de la traslación y rotación de una operación independiente que, como la reflexión traslatoria, siempre está unida a la traslación pura. Antes que el cuerpo recorra una longitud de identidad de la traslación pura, se superpone a sí mismo tantas veces como lo indica el eje de rotación acoplado a la traslación o eje helicoidal (*tr*). Por ejemplo el orden del eje de rotación de una hélice matemática es infinito (circunferencia); si existe una longitud de identidad de traslación (paso) la hélice se superpone a sí misma infinitas veces. En el movimiento helicoidal los ejes de rotación y de traslación son coincidentes

7. *Reflexión traslatoria (ts)* es el acoplamiento de traslación y reflexión especular a lo largo de un eje de reflexión traslatoria (*ts*). (Véase lo dicho anteriormente)

8. *Reflexión rotatoria (rs)* es el acoplamiento de rotación y reflexión especular. Como dos reflexiones especulares equivalen a una rotación, un eje de reflexión rotatoria (*RS*) de orden n es a la vez siempre un eje de rotación, un eje de

¹³ Para las operaciones de superposición obtenidas por acoplamiento se mantiene en los símbolos, el orden establecido por los autores para los términos compuestos que figuran a continuación no se ha mantenido por razones idiomáticas, el orden con que aparecen en alemán.

Se ha optado, pues, por la siguiente traducción:

Gleitdrehung (traslacio-rotación)	Rotación traslatoria
Gleitspiegelung (Traslacio-reflexión) *	Reflexión traslatoria
Drehspiegelung (rotacio-reflexión)	Reflexión rotatoria
Gleitsstreckung (traslacio-extensión)	Extensión traslatoria
Drehstreckung (rotacio-extensión)	Extensión rotatoria
Spiegelstreckung (reflexio-extensión)	Extensión refleja
Schraubstreckung (helico-extensión)	Extensión helicoidal
Gleitspiegelstreckung (traslacio-reflexio-extensión)	Extensión reflejo traslatoria
Drehspiegelstreckung (rotacio-reflexio-extensión)	Extensión reflejo rotatoria

*Las formas que se dan entre paréntesis reproducen literalmente el término del original. (N. del E.)

orden $n/2$. El caso especial de una rotación de 180° (abatimiento), con reflexión especular en planos perpendiculares al eje de rotación, siempre produce instantáneamente un eje de simetría (c) cada punto p del cuerpo tiene su correspondiente p1 de igual valor y se encuentra si se traza una recta desde p que pase por el centro de la simetría. El caso especial de la reflexión rotatoria se denomina también inversión

La reflexión helicoidal es la última de las posibilidades de acoplamiento isométricas (acoplamiento de traslación, rotación y reflexión especular) y ya no se puede realizar como operación de superposición, pues la reflexión en planos que tienen la dirección del eje de traslación y en planos perpendiculares a dicho eje invierte el sentido de rotación del movimiento helicoidal y, por consiguiente aparecen partes que ya no pueden ser llevadas a la superposición mediante operaciones de primera especie. (Véase lo dicho anteriormente)

9- *Extensión traslatoria (te)*. Es un acoplamiento de traslación con extensión y se produce a lo largo de un eje de extensión (TE) La traslación pura no se puede ligar con la extensión traslatoria, ya que cambian los motivos y las distancias. Además de la extensión traslatoria propiamente dicha, en la cual la traslación (acoplada a la extensión) y el motivo están extendidos en la misma medida, pues aparecen como variantes:

a) una extensión traslatoria con extensión exclusiva del motivo;

b) una extensión traslatoria con extensión exclusiva de la traslación. Las dos son operaciones de superposición homeométricas mezcladas (Fig. 6).

10- *extensión rotatoria (re)* es el acoplamiento de rotación y extensión alrededor del punto de extensión rotatoria (RE) Además de la extensión rotatoria puramente homeométrica, en la cual están extendidos el radio de la rotación, el ángulo de la rotación, el ángulo de la rotación y el motivo, pueden aparecer como variantes de carácter iso-homeométricos mezclados:

a) extensión del ángulo de rotación y del motivo, manteniendo constante el radio de rotación;

b) extensión del ángulo de rotación manteniendo constante el motivo y el radio de rotación;

c) extensión del radio de rotación, manteniendo constantes el motivo y el ángulo;

d) extensión del radio y del motivo, manteniendo constante el ángulo;

e) extensión del radio y del ángulo, manteniendo constante el motivo.

Así como la introducción de la polaridad en la extensión traslatoria hace desaparecer la traslación pura, la extensión rotatoria no puede unirse con una rotación pura alrededor del mismo eje.

11- *Extensión refleja (SE)* Es el acoplamiento de la reflexión especular y extensión. La extensión refleja tiene por característica que no se corre el punto de extensión. (SE) del motivo, al igual que para la extensión pura.

12- *Extensión helicoidal (tre)*. Es el acoplamiento de traslación, rotación y extensión a lo largo del eje de extensión helicoidal (TRE). Se comporta como el movimiento helicoidal, pero carece de la traslación pura debido a la polaridad, que siempre va unida a la extensión. La extensión helicoidal siempre está combinada con la extensión traslatoria, la cual es para el caso de la extensión, lo que la traslación es para los movimientos sin extensión.

La extensión helicoidal homeométrica pura, en la cual están extendidos los radios de rotación, ángulos de rotación, traslación y motivo, tiene al igual que la extensión traslatoria y la extensión rotatoria, variedades *iso-homeométricas*

13. Extensión reflejo traslatoria (*tse*). Es el acoplamiento de traslación reflexión especular y extensión a lo largo del eje de extensión reflejo-traslatoria (TSE) Resulta de acoplar a la reflexión traslatoria una extensión del motivo y una extensión de la longitud de traslación. No presenta fundamentalmente nada nuevo, con excepción de la ausencia de la traslación pura y la aparición de la extensión traslatoria.

Las variedades *iso-homeométricas* mezcladas se componen, como la extensión traslatoria, de la extensión del motivo o de la operación