1. La Proporción en Arquitectura

La teoría de la proporción nace de la creatividad arquitectónica: la relación de la parte con el todo; las relaciones del todo con todas sus partes,... Esta teoría, ya aplicada en Egipto y descrita literariamente por primera vez por el arquitecto romano Vitruvio, va unida a los trazados geométricos con regla y compás, y en ella conviven las proporciones estáticas inherentes a la modularidad (1, 1/4, 1/2, 3/4, 1/3, 2/3, 1/5,...) con las bellísimas proporciones dinámicas ($\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{5}$, (1+$\sqrt{5}$)/2,...). Alsina C. (2005)

El estudio de la Proporción en Arquitectura está emparentado con el concepto matemático de proporción (igualdad entre dos razones). Pero en realidad se convierte en el uso de razones (cociente entre dos números) cuyo valor permite inferir la “forma” de la figura en estudio.

En este ámbito, la matemática es el instrumento que permite asignar un carácter científico al significado del término *proporción en arquitectura.* Por lo tanto, la proporción en una obra arquitectónica queda asociada a un número que tiene la característica de resignificar las relaciones entre las partes de la misma.

A lo largo de la historia, sólo algunos números han sido empleados para indicar la proporción de una obra o de sus partes entre sí. A algunos de ellos nos referiremos.

En Arquitectura, el uso de un módulo generador no está restringido al uso de un cuadrado. Ello se debe a que en la práctica se utilizan piezas constructivas o de diseño como elementos modulares. Por ejemplo: un ladrillo, un cerámico, etc.

1.1. La fundamentación histórica del concepto de proporción.

En ella se entrelazan las visiones de la Matemática y la Arquitectura. El concepto de *proporción* es muy antiguo. Nace debido a la necesidad de expresar cuantitativamente la noción de semejanza, como respuesta al deseo natural de comparar objetos de la misma forma pero de diferente tamaño. La *comparación* es una idea previa a la de medida. Se remonta a los trabajos de Thales de Mileto (640 a.C., 546 a.C.). Los pueblos mesopotámicos y China ya la conocían en etapa muy anterior, a través de su descubrimiento de la relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro conocida como π (pi), que es una de las “proporciones notables” en el sentido de comparación.

Se asigna a la Escuela Pitagórica, la primera formulación de la teoría de las razones y proporciones aritméticas que, más tarde, se recopila en los Elementos de Euclides (300 a.C.). En el Libro V se leen las que se consideran primeras definiciones: “*Razón es la relación cualitativa en lo que se refiere a dimensión, de dos cantidades homogéneas* (proposición 3*) y “se llaman proporcionales a las magnitudes que guardan la misma razón”* (proposición 6)[1].

[1] Ver: http://www.euclides.org/menu/elements_esp/05/definicioneslibro5.htm

Debido a la ausencia de una notación simbólica (surgida con el nacimiento del Álgebra en el siglo XIII) sumada al hecho de que los Libros de Euclides fueron escritos a mano y copiados en innumerables ocasiones hasta la invención de la imprenta, es comprensible que se hayan deslizado errores que generaron imprecisiones: así, lo que en Grecia fue conocido como "razón" (*ratio*), en Roma se tradujo como "proporción" (*proportio*). Con este nombre, el concepto fue usado por Vitruvio (arquitecto romano del Siglo I a.C.) al escribir su tratado "*Sobre la arquitectura"* (*De architectura)*, la única obra de estas características que se conserva de la Antigüedad Clásica. Conocido y empleado en la Edad Media, la edición del tratado de Vitruvio, editado en Roma en 1486, se convirtió en el Renacimiento, etapa de profunda admiración de la cultura clásica, en un instrumento que permitió reproducir sus formas arquitectónicas.

1.2. Equivalencia entre los conceptos en Matemática y Arquitectura.

En Matemática una proporción es la igualdad de dos razones. En terminología actual:

"Dadas cuatro cantidades homogéneas[2], r, s, t y v , tales que no sean nulas, se dice que r es a s como t es a v cuando se verifica que:

$\frac{r}{s} = \frac{t}{v}$, Expresión que indica la proporcionalidad entre dichos números"

Importante!

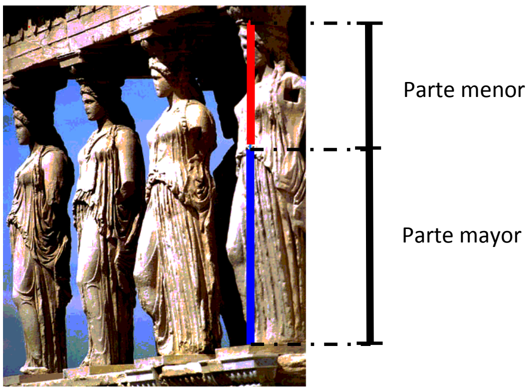
Ambos cocientes, una vez efectuados, tienen el mismo resultado. Los valores que pueden tomar dichos cocientes, pueden ser mayores, menores o iguales a 1.

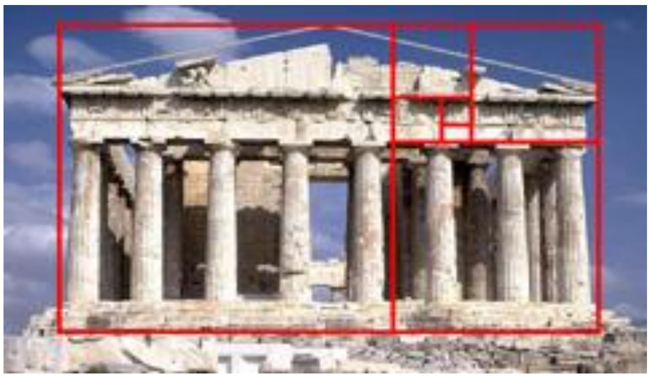
En Arquitectura, la proporción expresa la comparación entre la longitud de dos segmentos y, por convención, se indica como el cociente entre la mayor y la menor. Por ello es siempre es un número mayor o igual que 1 (uno):

Se llama proporción entre dos segmentos cualesquiera de longitudes a y b, al cociente indicado entre ellas. Se indica:

$p\ (a,b) = \frac{\max(a,b)}{\min(a,b)}$. Si b ≥ a, entonces, $p\ (a,b) = \frac{b}{a} \geq 1$

Esta expresión es aplicable a la determinación de la proporción entre longitudes de partes tanto en una dimensión como en dos dimensiones. Ejemplos:





Cariátides en Acrópolis de Atenas **Partenón Fachada Principal del Partenón**

[2] Son cantidades homogéneas las que pertenecen a una misma magnitud y por lo tanto son comparables.
Ej 1: 3 m; 2.5 m; 0.3m representan medidas de longitud y pueden compararse.
Ej.2: 5 m y 8 m^2 no son homogéneas porque la 1era es una medida de longitud y la segunda de área. No pueden compararse.

2. Tipos de proporción en arquitectura.

La proporción puede quedar expresada por un número racional positivo o un número irracional positivo. Según ello se llama:

Proporción racional, estática o conmensurable[3] a la que queda expresada por un número racional positivo. En este caso siempre puede encontrarse un módulo arbitrario que esté contenido un número entero de veces en cada una de las partes. Así, si p (a, b) = 5/3 siendo a>b significa que puede encontrarse un módulo **d** tal que, por ejemplo, sean **a = 10 d** y **b = 6 d**, de modo que su cociente es 5/3.

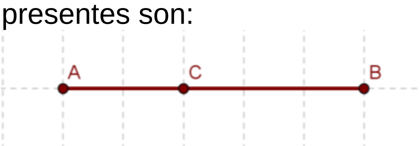
Proporción irracional, dinámica o inconmensurable[4] a la que queda expresada por un número irracional positivo. Por tal motivo, no existe modularidad posible entre las partes. Es decir no es posible hallar un módulo que esté contenido un número entero de veces en cada una de las partes.

A partir de ahora y para abreviar, llamaremos a cada una **estática** o **dinámica,** según corresponda.

La proporción asume diferentes formas de expresión matemática, según la dimensión de los objetos geométricos en los que se estudia.

2.1. Proporción en 1D: el segmento.

El segmento es el elemento geométrico más sencillo en el que puede aplicarse el concepto de proporción. Una simple división del segmento en dos partes, determinadas por cualquier punto interior establece una determinada proporción. Dicha proporción queda establecida entre el todo y cada una de las partes o entre las partes.
Para el segmento AB de la figura en la que se señala el punto interior C, las proporciones presentes son:



$\frac{todo}{parte\ mayor}\left(\frac{AB}{CB}\right)$, $\frac{parte\ mayor}{parte\ menor}\left(\frac{CB}{AC}\right)$ y $\frac{todo}{parte\ menor}\left(\frac{AB}{AC}\right)$

Estas razones respetan el concepto de proporción en arquitectura por cuanto son mayores o iguales que 1.

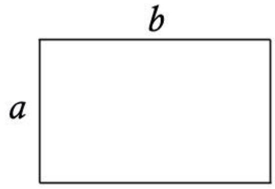
Las proporciones en 1D, pueden ser estáticas o dinámicas.

2.2. Proporción en 2D

El siguiente elemento geométrico al puede aplicase el concepto de proporción es a una figura de dos dimensiones, En este curso la analizaremos, particularmente, para el rectángulo.

La proporción de un rectángulo es un número que indica el valor numérico de la razón entre las medidas de sus lados:

[3] Conmensurable: cantidades cuya razón es un **número racional**
[4] Inconmensurable: cantidades cuya razón es un **número irracional**



$$p(a,b) = \frac{\max(a,b)}{\min(a,b)}$$

Atención!, siempre es medida del lado mayor sobre medida del lado menor

Por lo tanto para este rectángulo la proporción es $p(a,b) = \frac{b}{a}$.

Al igual que en una dimensión, podemos encontrar figuras en proporción estática o dinámica.

2.3. Proporción en 3D

Así como se definió la proporción en una y en dos dimensiones, también puede definirse en tres dimensiones. En este caso nos referiremos a la proporción de un recinto cuya forma es un paralelepípedo recto.

Para ello debemos establecer una vinculación entre sus tres dimensiones: largo, ancho y alto, basada en la teoría de las medias proporcionales, según la cual: dados a, b y c números reales positivos, de modo que **a > b > c**, se dice que **b** es:

- **Media aritmética**, entre a y c si se verifica que: $b = \frac{a+c}{2}$

  Ejemplo: dados a = 8 y c = 2 entonces su media aritmética es: $b = \frac{8+2}{2}$ ➔ b = 5

- **Media geométrica** entre a y c si se verifica que: $b = +\sqrt{a * c}$

  Par los mismos números resulta: $b = +\sqrt{8 * 2}$ ➔ b = 4

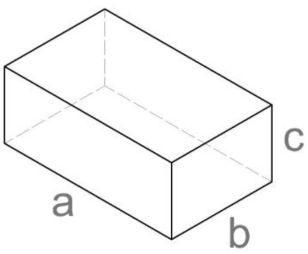
- **Media armónica** entre a y c si se verifica que: $b = \frac{2*a*c}{a+c}$.

  Análogamente: $b = \frac{2*8*2}{8+2}$ ➔ b = 3.2

A partir de sus definiciones puede demostrarse que: $M_{arit} > M_{geom} > M_{armon}$ para cualquier par de números positivos. Esta propiedad se verifica para las medias entre 2 y 8 del ejemplo anterior.

Veamos cómo se determina la proporción de un recinto de acuerdo con esta Teoría.

Supongamos que se dispone de un recinto de **largo a**, **ancho b** y **alto c,** siendo **a > b > c**.



Podemos definir los siguientes tipos de proporción a partir de la propiedad algebraica que las vincula. Se dice que:

- Están en ***proporción aritmética*** cuando b es media aritmética entre a y c.

Debe verificarse que: **a - b = b – c** ➔ $\frac{\mathbf{a\text{-}b}}{\mathbf{b\text{-}c}} = \frac{\mathbf{a}}{\mathbf{a}}$

- Están en ***proporción geométrica*** cuando b es media geométrica entre a y c.

Debe ser: $\frac{a}{b} = \frac{b}{c} \rightarrow \frac{a-b}{b-c} = \frac{b}{a}$

- Están en proporción armónica cuando b es media armónica ente a y c.

Por ello, debe ser: $\frac{a-b}{b-c} = \frac{c}{a}$

"El propósito de todas las teorías de la proporción es crear un sentido de orden visual entre los elementos de una construcción. Un sistema de proporcionalidad establece un conjunto fijo de relaciones visuales entre las partes y el todo. Aunque no se perciban de inmediato para un observador fortuito, el orden visual que generan puede sentirse, asumirse o, incluso, reconocerse a través de una experiencia reiterada." (Ching, 2008, pag.284).

3. Algunos proporciones dinámicas notables.

3.1 En el segmento.

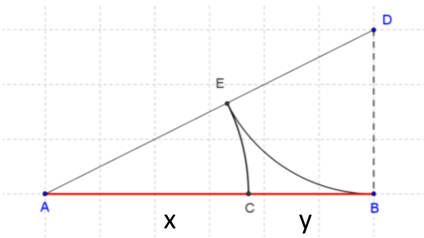
Se presenta un caso particular dentro de las proporciones dinámicas**.** Está relacionada con un problema planteado entre los matemáticos de la antigüedad y que fuera formalizado por Euclides[5].

Dicho problema propone: *dado un segmento cualquiera* ***AB****, encontrar un punto interior* ***C*** *tal que la longitud total del segmento sea a la de la parte mayor como ésta es a la longitud de la parte menor*. Es decir: "el todo es a la parte mayor como la parte mayor es a la menor". Es decir, debe verificarse que:

$$\frac{el\ todo}{parte\ mayor} = \frac{parte\ mayor}{parte\ menor}$$

Analicémoslo geométricamente y justifiquémoslo algebraicamente. Se trata de encontrar el punto C de AB, tal que:

$$\frac{AB}{AC} = \frac{AC}{CB}$$



Para hallar C con regla y compás, se construye BD = AB/2 sobre la perpendicular a AB que pasa por B. Luego se unen A y D. Con centro en D y radio DB se traza arco que corta a AD en E. Finalmente, con centro en A y radio AE, se traza el arco que corta a AB en C.

Calculemos, en términos algebraicos el valor de esta proporción. Si a la longitud de AC la llamamos "x" y a la de CB, "y", siendo x > y, el problema puede enunciarse simbólicamente del siguiente modo: $\frac{x+y}{x} = \frac{x}{y}$

Para Determinar el valor numérico de x, supongamos que la longitud del segmento menor es unitaria, es decir: $y = 1$. Entonces: $\frac{x+1}{x} = \frac{x}{1}$

[5] La historia demuestra que no fue el primero. Ya en tiempo de los babilonios se había resuelto el problema. Sólo que el descubrimiento de sus escritos llega a nosotros con posterioridad.

Operando, se obtiene la ecuación de segundo grado: $x^2 - x - 1 = 0$

cuyas soluciones son: $x_1 = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$, $x_2 = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$

Como estamos buscando la longitud de un segmento, la *única solución posible del problema es el valor positivo,* que es un número irracional muy famoso designado con la letra griega ϕ (fi) y conocido como el *número de oro*: $\phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$

Verifiquemos lo previamente anunciado: $\frac{todo}{parte\ mayor} = \frac{parte\ mayor}{parte\ menor}$ Para este caso es:

$\frac{x+1}{x} = \frac{x}{1}$ Reemplazando: $\frac{\frac{1+\sqrt{5}}{2}+1}{\frac{1+\sqrt{5}}{2}} = \frac{\frac{1+\sqrt{5}}{2}}{1}$

Hemos desarrollado este caso particular de proporción entre las partes de un segmento porque tiene la particularidad de que es la única que vincula las partes con el todo. Además se destaca por su presencia tanto en la naturaleza como en las producciones del hombre comprendidas tanto en la arquitectura, como el arte, la música, etc.

Al valor numérico de esta razón (que siempre es un número), se lo ha denominado: número de oro, proporción áurea o divina proporción y tiene propiedades especiales que analizaremos más adelante.

3.2. Rectángulos dinámicos notables.

a. Rectángulos de proporción $\sqrt{n}$.

Entre los rectángulos dinámicos, la serie de los que tienen proporción $\sqrt{n}$ con n entero positivo y no cuadrado perfecto, contiene algunos rectángulos que han sido muy usados en arquitectura, diseño y arte.

Propiedad característica: este tipo de rectángulos se caracterizan porque al efectuar la partición[6] del rectángulo en n rectángulos, a partir de la división de su lado mayor, cada uno de los rectángulos obtenidos conserva la proporción del original.

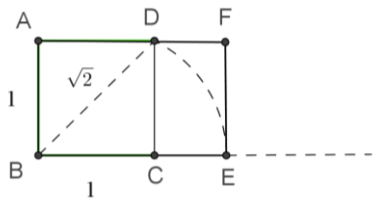
Ejemplo del uso de esta propiedad es el diseño de la Norma DIN para el formato de hojas de papel, cuya proporción es $\sqrt{2}$**.** Se basa en la división sucesiva de un rectángulo de proporción $\sqrt{2}$, en dos rectángulos iguales. El mayor llamado **A0**, tiene un área de 1m^2 **(**ver imagen en Anexo 1 de Transformaciones**)**. Se obtienen de este modo los tamaños A0, A1, A2, A3 A4, etc.

Veamos cómo se construye un rectángulo con esta proporción:

[6] Particionar una figura geométrica significa subdividirla en sectores no superpuestos ni solapados tales que su unión genera la figura original. Ej. ver Fig. 1 en pág. 4

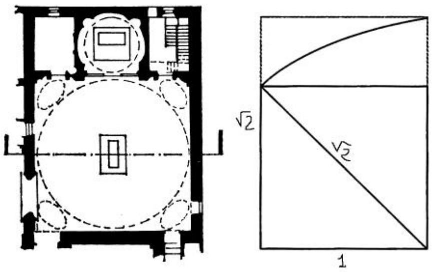
Rectángulo de proporción $\sqrt{2}$.

Un rectángulo de lados a y b es de proporción $\sqrt{2}$ si se verifica que p(a,b) = $\sqrt{2}$
Construcción: la más sencilla consiste en dibujar un cuadrado de lado 1 y utilizar la diagonal, cuya medida es $\sqrt{2}$**,** como radio de una circunferencia de centro en B. Con esa medida, se traza un arco que corta a la prolongación del lado BC en E. El segmento BE es la base del rectángulo ABEF, de altura unitaria, cuya proporción es **p (1,$\sqrt{2}$) = $\sqrt{2}$**.

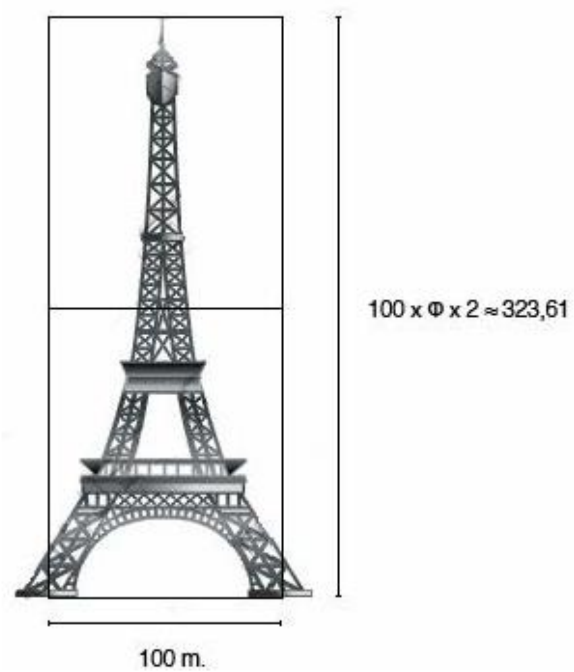


Ejemplo de su uso en arquitectura.

Este rectángulo ha sido usado en arquitectura, tanto en planta como en vista.
Podemos citar a arquitectos como Brunelleschi, Le Corbusier, Wright, Kahn, etc. como ejemplo de quienes aplicaron este tipo de proporción en sus obras.



Sacristia Vecchia. Planta. Brunelleschi (S.XV)



Torre Eiffel, París (1889)

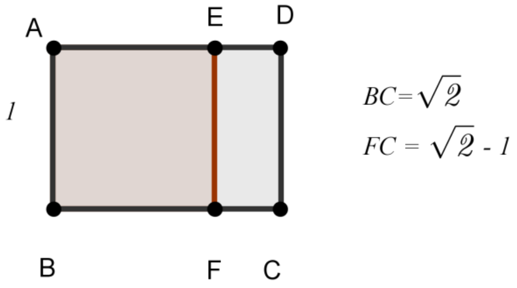
Otros rectángulos de esta serie de proporciones con mucha aplicación en arquitectura, diseño y arte son, los ya mencionados, $\sqrt{3}$ y $\sqrt{5}$.

b. Rectángulo de proporción 1 + $\sqrt{2}$

El número (1 + $\sqrt{2}$) es conocido con el nombre de número de plata, se lo denomina con la letra θ. Su valor exacto es la solución positiva de la ecuación $x^2 - 2x - 1 = 0$

Un rectángulo de proporción θ = **1 + $\sqrt{2}$** es un rectángulo de plata**.**

Una manera sencilla de construir un rectángulo de esta proporción es sustrayendo a un rectángulo de proporción $\sqrt{2}$**,** un cuadrado cuyo lado tenga la medida del lado menor, tal como se ve en la figura que sigue.



ABCD es un rectángulo de proporción $\sqrt{2}$.

Al sustraerle el cuadrado de lado unitario ABFE se obtiene el rectángulo EFCD cuyos lados miden 1 y $\sqrt{2}$ - 1, por lo tanto su proporción es:

$$p\,(1, \sqrt{2} - 1) = \frac{1}{\sqrt{2}-1} = \mathbf{1 + \sqrt{2}}$$

es decir su proporción es θ, el número de plata.

c. Rectángulo de proporción $\frac{1+\sqrt{5}}{2}$

A los rectángulos de esta proporción se los llama **rectángulos áureos** o de **proporción áurea**.

Un rectángulo de lados a y b es áureo cuando su proporción es:

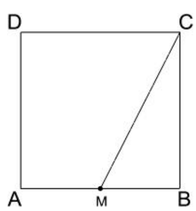
$$p(a,b) = \phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$$

El rectángulo áureo se ha usado desde la más remota antigüedad tanto en arquitectura como en arte y en diseño de objetos.

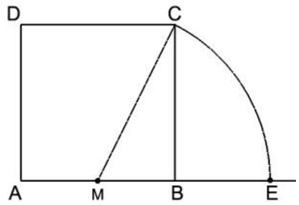
Su construcción: hay más de un modo de construirlo. Elegimos uno de ellos y te pedimos que investigues sobre algún otro procedimiento.

Se parte de un cuadrado de vértices ABCD, de lado 1. Se marca el punto medio M de uno de sus lados (el AB en este caso) y se une este punto con uno de los vértices del lado opuesto.

Aplicando teorema de Pitágoras al MBC se obtiene MC = $\frac{\sqrt{5}}{2}$



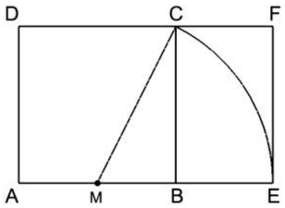
Luego con centro en M y con radio igual a la longitud del segmento MC, se traza un arco de circunferencia hasta que corte a la prolongación de lado AB.



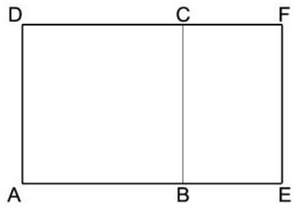
Como ME = MC

Resulta ME = $\frac{\sqrt{5}}{2}$

El punto E donde el arco de circunferencia corta a dicha prolongación es uno de los vértices del rectángulo áureo.



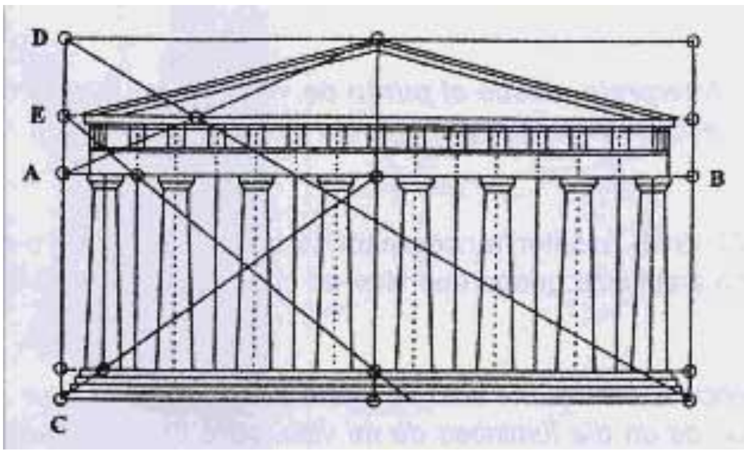
→

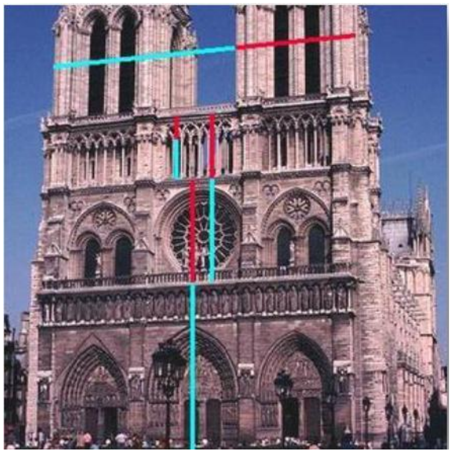


Como AM = $\frac{1}{2}$ **,** resulta AE = $\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{5}}{2}$, es decir: AE = $\frac{1+\sqrt{5}}{2}$ = ϕ, lo que significa que el rectángulo AEFD es de proporción p (1, ϕ) = $\frac{1+\sqrt{5}}{2}$

En arquitectura ha tenido una gran aplicación desde la antigüedad hasta el siglo XX con Le Corbusier quien lo usó de base para El Modulor, entre otros.

Fidias en el Partenón: El ejemplo arquitectónico más conocido que denota la utilización de este número (más precisamente del rectángulo áureo), es el de la fachada del Partenón griego.





Partenón. Atenas.

Catedral de Notre Dame, París.

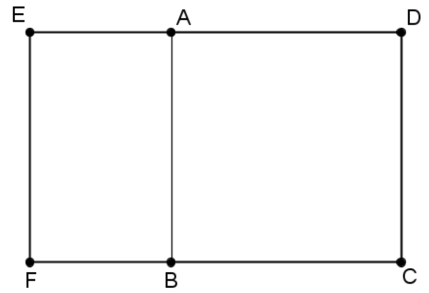
De la figura se puede comprobar que: $\frac{AB}{CD}=\phi$

Pero hay más razones entre sus medidas que están en proporción áurea, por ejemplo:

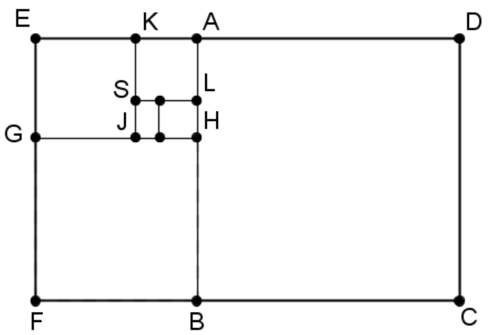
$\frac{AC}{AD}=\phi$ y $\frac{CD}{CA}=\phi$

Un par de propiedades especiales del rectángulo áureo

Es el único rectángulo en el que al particionarlo en un cuadrado de lado de igual longitud que su lado menor y un rectángulo, éste conserva la proporción del rectángulo original. Es decir, es un rectángulo áureo. Esto significa que, en la figura que sigue, en la que DEFC es áureo, el rectángulo AEFB también es áureo. Esta propiedad, aplicada sucesivamente a cada uno de los rectángulos de menor tamaño genera una partición del rectángulo original que sirve de base a la espiral áurea caracterizada porque está formada por arcos de circunferencia en cuyos puntos de contacto la recta tangente es única.



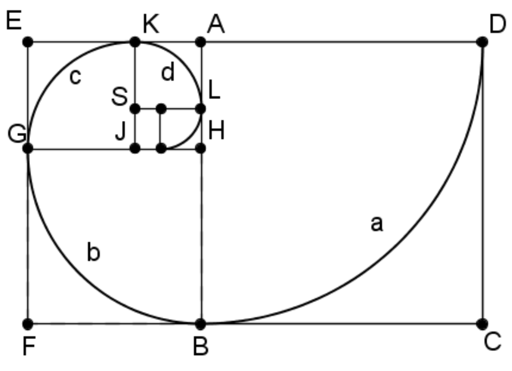
a. Partición del rectángulo áureo.



En la figura de al lado, ADCB es el cuadrado que da inicio a la construcción. Los rectángulos: EDCF, EABF, EAHG, KAHJ, SLHJ, etc., son todos áureos.

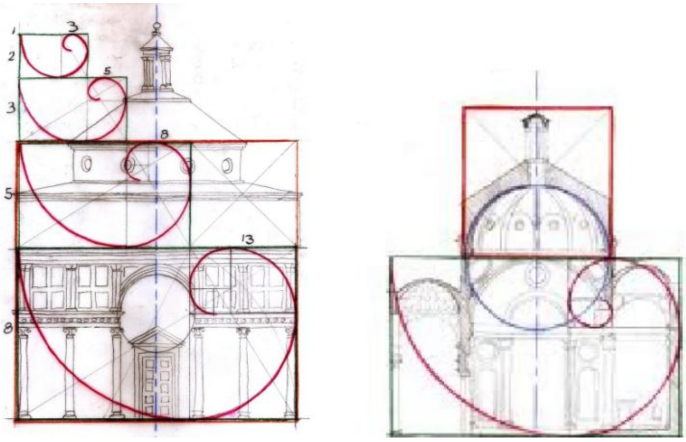
Espiral áurea, a partir de la partición del rectángulo áureo.

La partición realizada, es la que permite construir la espiral áurea caracterizada por estar formada por cuartos de circunferencia, como se ve en la figura que sigue.



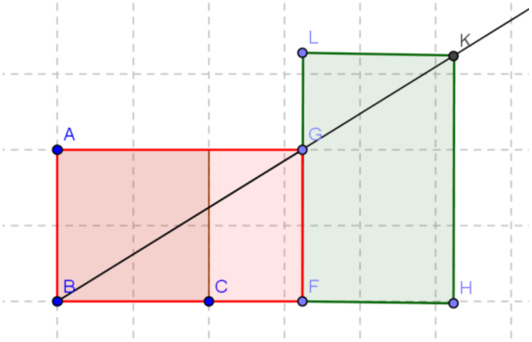
Los arcos de circunferencia que forman la espiral son:

- a (con centro en A)
- b (con centro en H)
- c (con centro en J)
- d (con centro en S)
- etc.



Capella Pazzi - Brunelleschi .Florencia- (1441)

b. El rectángulo áureo es el único rectángulo cuya diagonal prolongada contiene al vértice de un rectángulo congruente, adyacente a él, colocado verticalmente como se muestra en la figura. (En ambos, las longitudes de los lados son: lado mayor ϕ y lado menor 1)



Según esta propiedad, los rectángulos ABFG y FLKH son áureos y congruentes.

Por construcción es ABFG es áureo donde AB = 2 y BF=$\sqrt{5}+1$

En el **TP** te proponemos verificar que el rectángulo LFHK es también áureo.

4. El número de oro y el álgebra.

Hasta ahora hemos analizado al número de oro desde el punto de vista de la Geometría, tal como fue su surgimiento histórico. Su fundamentación desde el punto de vista del Algebra se presenta a comienzos del desarrollo de esta disciplina.

Leonardo de Pisa, más conocido como Fibonnacci fue un matemático del siglo XIII, autor del primer tratado de Álgebra. En su Libro del Ábaco (Liber Abaci - 1202) introduce la sucesión que lleva su nombre y que fue originada al tratar de resolver un problema acerca de la reproducción de los conejos:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144 ...

En esta sucesión, la primera que se conoce en la historia, cada término es la suma de los dos anteriores, es decir, es una sucesión recurrente[7].

Si con los números de la sucesión construimos otra cuyos términos sean los cocientes entre cada término y el anterior a excepción de primero que es 1, se obtiene la sucesión:

$$\frac{1}{1};\frac{2}{1};\frac{3}{2};\frac{5}{3};\frac{8}{5};\frac{13}{8};\frac{21}{13};\frac{34}{21};\frac{55}{34};\frac{89}{55};\frac{144}{89};\frac{233}{144};\ldots$$

[7] Se llaman *sucesiones recurrentes* a aquellas cuyos términos quedan definidos por los que lo preceden. En este caso, cada término se obtiene como suma de los dos anteriores, excepto el primero.

En la que, a partir de $\frac{89}{55}$ se obtiene 1,618181818…número que comparte con ϕ las tres primeras cifras decimales. Los sucesivos términos de esta sucesión numérica aproximan con mayor exactitud al valor de ϕ.

El valor aproximado que se utiliza en los cálculos con ϕ es 1,618**,** así como para π utilizamos 3,14.

5. El número de oro en el Diseño.

Como ya mencionamos, es muy frecuente la presencia del número de oro en Arte y en Arquitectura. Célebres arquitectos lo utilizaron en sus diseños. Entre todos ellos elegimos a Le Corbusier para poner de manifiesto la importancia que ϕ ha tenido en su desarrollo del Modulor.

Le Corbusier y el número de oro.

"Para formular respuestas que dar a los formidables problemas planteados por nuestro tiempo y relativos al aspecto extremo de nuestra sociedad, hay un único criterio aceptable, que reconducirá todos los problemas a sus verdaderos fundamentos: este criterio es el hombre."
Le Corbusier

La medida y su relación antropológica en arquitectura ha sido una cuestión recurrente en mucho tratados de arquitectura. También para Le Corbusier, la referencia antropológica es la solución para volver a introducir la arquitectura dentro del orden de la naturaleza.

La creencia de Le Corbusier que la arquitectura es orden y que la armonía se puede conseguir obedeciendo las leyes universales de la proporción, le llevó a presentar dicho sistema Modulor destinado a la obtención de proporciones armónicas en las obras arquitectónicas. Tomó como base las dos series (roja y azul) desarrolladas con base en el Número de oro y relacionó las medidas así obtenidas con las proporciones humanas.

Lo define como:

"El modulor es un aparato de medida basado en la estatura humana y la Matemática. Un hombre con la mano levantada da los puntos determinantes de la ocupación del espacio,-el pie, el plexo solar, la cabeza, la punta de los dedos de la mano estando el brazo levantado- tres intervalos que definen una serie derivada de la sección áurea, llamada de Fibonacci y, por otras parte, le Matemática que ofrece la variación más sencilla y más simple de una medida: lo simple, lo doble y las dos secciones áureas." (Le Corbusier, pág. 75. 2005)

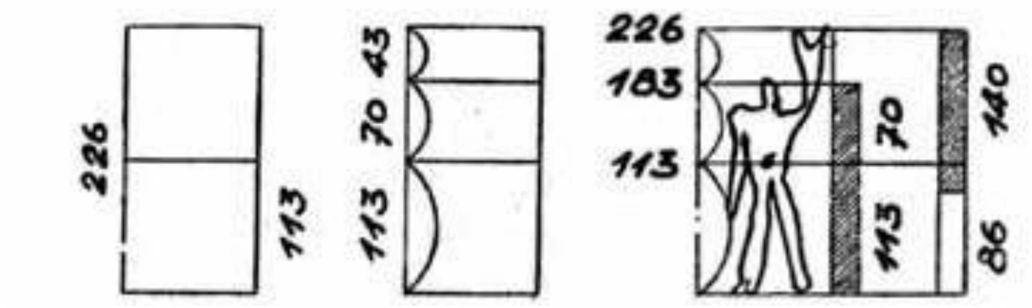
En esa circunstancia presenta al Modulor. Una grilla de proporciones establecida por la medida humana, para ser utilizada como instrumento clarificador en fase de proyecto, basada en los principios de la proporción áurea. Es por tanto un sistema de dimensiones armónicas de escala antropomórfica, aplicable universalmente a la arquitectura, en el que se intenta armonizar la nueva cultura moderna de la construcción industrializada con los deseos de orden y proporción típicos del renacimiento, basados en trazados reguladores geométricos y en series matemáticas.

La grilla proporciona tres medidas:

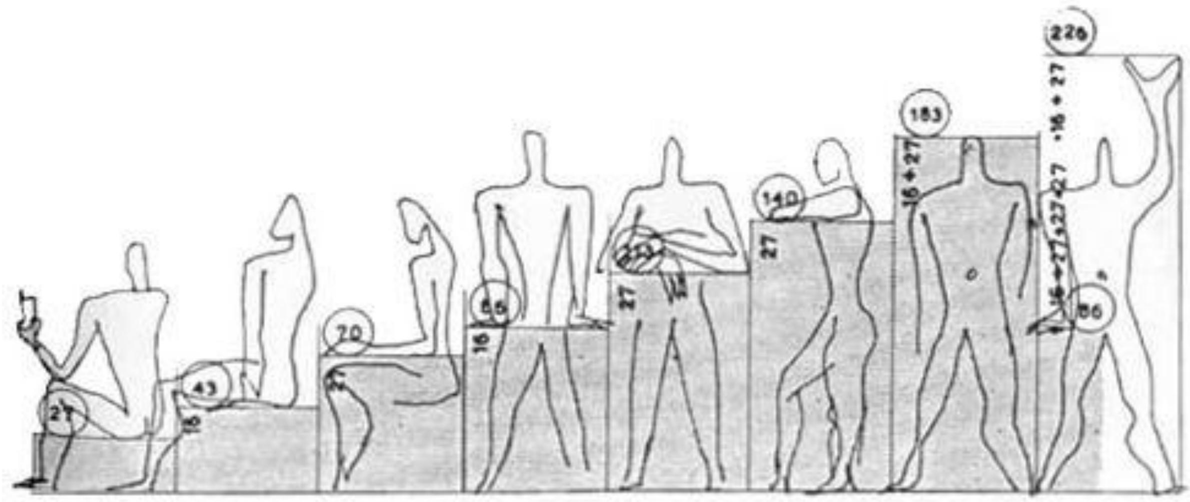
113, 70, 43 (en cm), que están en relación áurea

43 + 70 = 113, y 113 + 70 = 183 (la altura del hombre promedio según L.C.);

113 + 70 + 43 = 226 (hombre con el brazo arriba).



- La medida 113 proporciona la sección aurea 113- 70, esbozando una primera serie, llamada **SERIE ROJA 4 – 6 – 10 – 16 – *27* – 43 – 70 – <u>113</u> – 183 – 296, etc.**
- La medida 226 (113×2) proporciona la sección aurea 140-86, esbozando la 2da serie o **SERIE AZUL 13 – 20 – 33 – 53 – 86 – *140* – <u>226</u> – 366 – 592, etc.**
- Entre estos valores, o medidas, se pueden señalar los que característicamente se relacionan con la estatura humana (ver imagen)



En la Unidad Habitacional de Marsella se verifica la escala propuesta en el Modulor y expone más abiertamente los recursos de esta gama de intervalos armónicos. Sin embargo, la primera casa basada en la aplicación del Modulor, es la **Casa Curutchet, en La Plata, Argentina**[8]. Ello otorga a esta obra una relevancia enorme en el estudio de estas creaciones de Le Corbusier[9].

Le Corbusier advierte, sin embargo, que la mera aplicación del orden y el sistema de reglas no resuelven por sí mismo los problemas del proyecto arquitectónico. De ahí la insistencia continuada en sus escritos sobre el carácter meramente instrumental del Modulor, las normas

[8] Para poder aplicar el Modulor a la Casa Curutchet fue necesario que Amancio Willams, encargado de la construcción, obtuviese de parte de las autoridades locales el reconocimiento como Obra de interés científico, puesto que las medidas no respetaban los mínimos permitidos en muchos casos.

[9] De hecho, se las considera, cada una en su escala, puntos de articulación entre las villas heroicas, cuyo ejemplo cúlmine es la Ville Savoye, previas a la Segunda Guerra y toda la obra posterior.

y los trazados reguladores. Para Le Corbusier, el conocimiento de estos instrumentos es un antídoto frente a lo arbitrario, coincidiendo así con el legado de tratadistas como Vitruvio, Alberti y Viollet-le-Duc.

Bibliografía

Alsina, A.y Trillas, E.. (1991). Lecciones de Algebra y Geometría Curso para estudiantes de Arquitectura. Barcelona. G.G.
Cólera, J., Guzmán, M., et al. (1995): Matemáticas 2. Madrid. Anaya.
Ching, F. (1984). Arquitectura, Forma, Espacio y Orden. México. .G.
Clark R. H. y Pause M. (1983). Arquitectura: Temas de composición. Barcelona. G.G.
Federico, C.; Enrich, R. y otros (1997). El Arte de la Geometría + La Geometría del Arte = GeometrizArte. La Plata. Editorial de la UNLP. La Plata.
Ghyka, M. (1968) El número de oro. Ritmos. Ritos. 3ª edición. Buenos Aires. Poseidon.
Hambidge, J. (2003) Dinamic Simmetry. Reimpresión Yale University
Le Corbusier (1964). Hacia una Arquitectura. Buenos Aires. Poseidón.
Le Corbusier (2005) Le Modulor. Madrid. Apóstrofe.
Schofield, P. (1971) La Teoría de la Proporción. Barcelona. Labor.
Spinadel, V. (1995): La familia de los números metálicos y el diseño. Centro de Matemática y Diseño MAY DI. FADU-UBA. Dirección en Internet: http://cumincades. scix.net/data/works/att/4856.content.pdf
http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?&ID=136020&q=proporcion&site=educarchile. (visitada 18/03/2012) Contiene entre otros temas la proporción numérica
http://francesccornado.blogspot.com.ar (visitada: 20/04/2013)