Punto de Equilibrio

Aplicación a la Compacidad en escultura

Eugenio Cabello

ÍNDICE

Presentación

Propuesta

Términos clave.

Presentación

Se propone la definición del *Punto de Equilibrio,* en el que una figura tridimensional pasa de *inconsistente a contundente*, considerando la contundencia como una componente estética, y utilizando para ello la relación matemática entre tamaño y peso.

En su consideración última, esta figura tridimensional a que nos referimos, está dentro del ámbito de la escultura.

Términos clave	**Interpretación**
Densidad:	Relación masa/volumen Tipo de material(madera,bronce...) El bronce tiene una densidad próxima a 8,5, con lo cual tendríamos que un decímetro cúbico (un litro, en el caso de un líquido) pesaría 8,5 kilogramos
Volumen:	Escultura, paralelepípedo, esfera...
Inconsistencia:	Liviano, inmaterial, débil...
Contundente:	Mazacote, fuerte, compacto...
Tamaño:	Definido a través de una de sus magnitudes: alto, ancho ,largo, diámetro.como longitud significativa.
Fuerza:	Se utiliza en el sentido coloquial, como sensación subjetiva. Prescindimos de su relación matemática F = masa * aceleración.

Términos clave	**Interpretación**
Punto de Equilibrio	Punto en el que un volumen pasa de inconsistente a contundente al ir cambiando su tamaño y/o densidad
Semejante:	Nos referimos a figuras o volúmenes que tienen la misma forma, pero diferente tamaño.
Unidad convencional:	Sería una unidad inventada en cuanto a su nombre y diferente de las utilizadas en la práctica (metro, Kilogramo,libra...) y con una equivalencia determinada con respecto a ellas.
Referencia:	Se corresponde con un volumen de libre elección al que consideramos equilibrado, y con relación al cual hacemos nuestros cálculos.

Introducción

Punto de partida

Planteamiento: Vía densidad

Vía Tamaño

Recopilación.

Punto de partida

El hecho de estudiar la *contundencia* como una componente estética, no quiere decir que esculturas livianas, nada contundentes no puedan tener un gran contenido estético. Por tanto el término inconsistencia no es peyorativo.

La necesidad de definición del punto límite (de equilibrio) entre *contundencia* e *inconsistencia*, surge como un interrogante cuando para una forma determinada he tenido que elegir el tamaño y el material para su realización.

Si he de considerar un punto de partida anecdótico para iniciar la definición cuantitativa de este *Punto de Equilibrio* podría tomar el siguiente:

"Una cierta escultura, pequeña, realizada en encina y que posteriormente denominé Takuci, una vez terminada estuvo dando tumbos por el taller una cierta temporada, e incluso en otro momento llegó a estar en el montón de la leña".

" Lo cierto es que aunque la forma era válida, la sensación que se tenía es que era una cosa inconsistente y carente de fuerza".

" Con el fin de hacer una prueba de fundición a la cera perdida, retorné a esta pieza y la pasé a bronce" (figura 1).

" Independientemente de los problemas de fundición y patinado, el resultado fue fantástico desde el punto de vista de incorporación de *fuerza* a la pieza, al cambiar de material (densidad)".

" La previa sensación de *inconsistencia* en la pieza primitiva no se da en otras piezas de madera, pero de tamaño considerablemente mayor (foto 2) ".

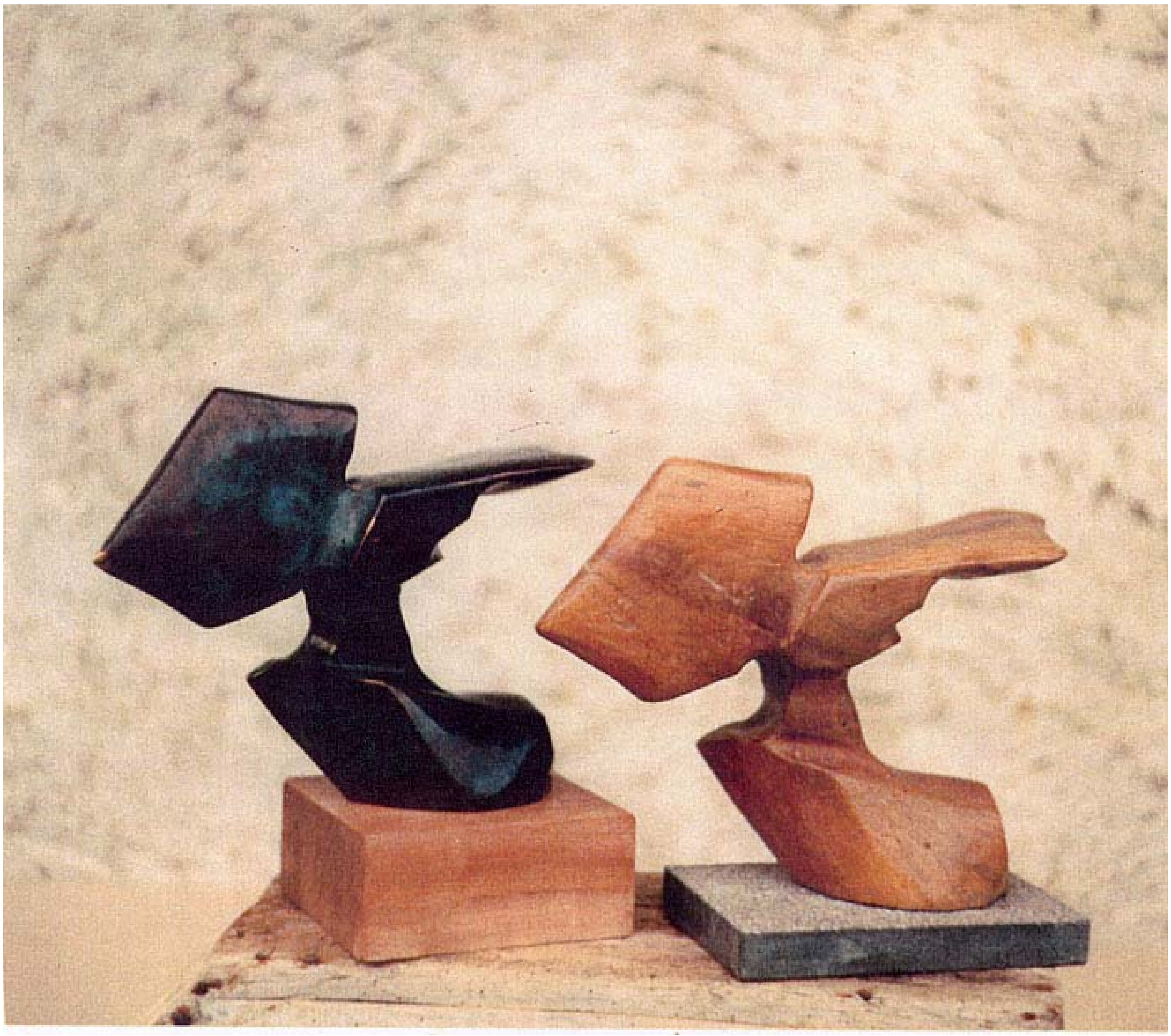


Foto 1

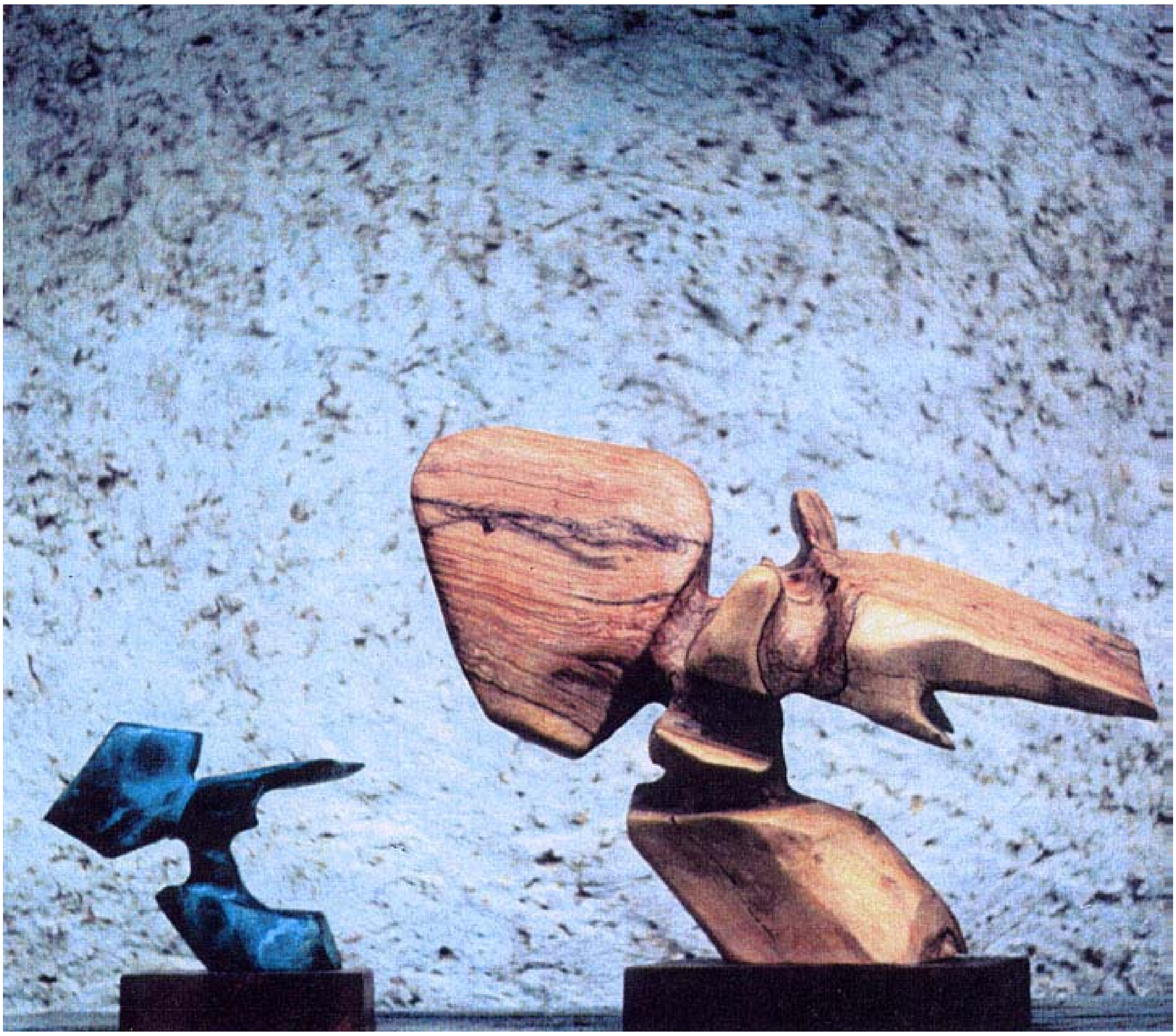


Foto 2

PLANTEAMIENTO

1/ Vía densidad

Supongamos cuatro bolas macizas de 15 cm de diámetro y de los siguientes materiales:

a/ Poliestireno expandido (corcho blanco de embalajes)

b/ Madera

c/ Piedra

d/ Hierro.

Es evidente que se pasa del poliestireno al hierro de *inconsistente a contundente*, al aumentar la densidad del material.

Teóricamente existiría un material de densidad intermedia que marcaría el límite (*Punto de Equilibrio)* entre lo *inconsistente* y lo *contundente*.

Simplificando el tema a dos figuras solamente, en la fotografía de la **fig 1**, que adjuntamos, vemos dos esculturas del mismo tamaño en que es evidente la mayor *contundencia* de la figura de bronce frente a su gemela de madera.

2/ Vía tamaño

Una segunda forma de presentación de este planteamiento es la siguiente:

Consideremos igualmente una forma concreta,(seguimos utilizando la esfera) de un material concreto, por ejemplo madera, y variando en este caso progresivamente su *tamaño.*

Utilizando como longitud significativa de la esfera, el diámetro, tendríamos que a partir de un cierto diámetro la esfera pasaría de ser *inconsistente* a *contundente.*

Una bolita de madera de un centímetro de diámetro es fácil de imaginar y evidentemente no presentaría una sensación de *contundencia*. Sin embargo una esfera de madera de un metro de diámetro si sería una forma plena de *contundencia*.

La pregunta a hacerse es: ¿Cual es el tamaño de la bola que marca el límite entre *inconsistente* y *contundente*?

A partir de este conocimiento ya se puede elegir el grado de *contundencia* que se quiere incorporar a la obra a realizar.

Estamos simplificando con una bola como figura elemental, pero la pregunta sigue siendo válida para una figura (escultura) cualquiera, tomando su longitud más significativa como parámetro representante del *tamaño.*

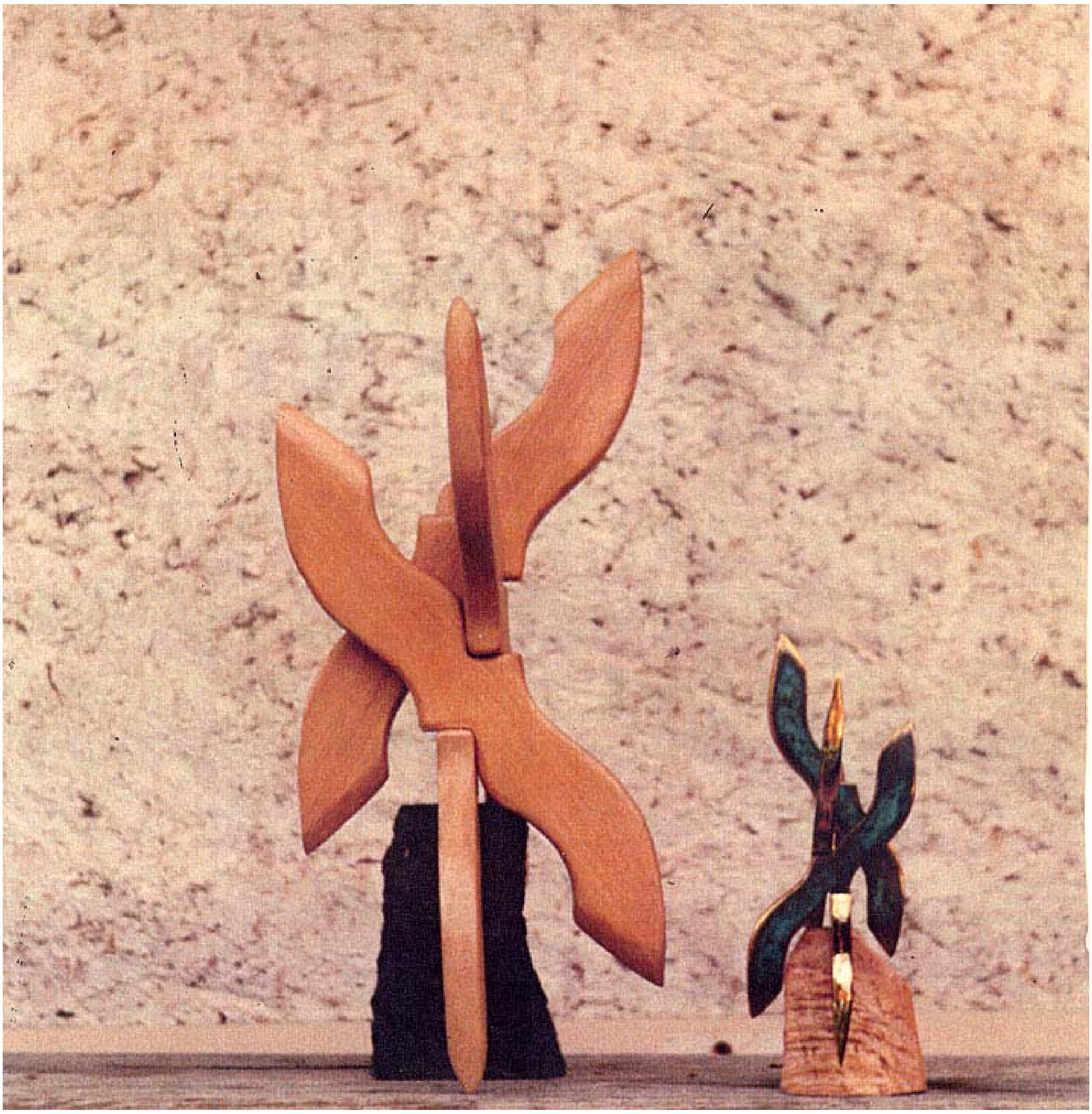


Foto 3

La fotografía **nº 3** puede ilustrar conjuntamente las dos formas de presentar el mismo planteamiento.

Aquí vemos dos figuras especularmente semejantes. Una de ellas, la más pequeña es de bronce (densidad próxima a 8,5) y la más grande es de madera (densidad algo inferior a uno).

En el supuesto de que ambas esculturas estén a la misma distancia del *Punto de Equilibrio,* resultaría que si la grande la hiciéramos de bronce estaría de una forma muy evidente en una situación de clara contundencia.

Por otra parte tendríamos que haciendo de madera la forma pequeña, resultaría una pieza que con una mera observación daría la sensación de *inconsistencia*. Sensación ésta que no se produce en su actual estado en bronce.

Por tanto y siempre utilizando criterios intuitivos, es evidente que cuanto más denso es el material, necesita menor tamaño para llegar al *Punto de Equilibrio.*

Recopilación

A modo de resumen de lo expuesto hasta ahora, diríamos que para una figura dada se puede pasar de *inconsistente* a *contundente* por dos caminos no incompatibles.

1º Aumentando el tamaño, para un mismo material (misma *densidad)*

2º Cambiando el material (aumentando la *densidad*), para un mismo tamaño.

3º Combinando ambas situaciones (aumento de *tamaño* y de *densidad* aumenta la contundencia).

El *Punto de Equilibrio* sería el límite entre *inconsistente* y *contundente*, pasando, en los extremos, de sumamente liviano a mazacote respectivamente cuanto más nos alejamos de este *Punto de Equilibrio.*

Introducción matemática al punto de equilibrio

Definición.

Relaciones matemáticas en el punto de equilibrio.

Variación de la longitud significativa

Introducción matemática:

Se trata ahora de definir dónde está ese *Punto de Equilibrio*.

Tomamos un supuesto tridimensional elemental, como introducción al tema, un cubo de densidad 1, en el cual consideramos su arista L como longitud significativa.

El volumen en litros (decímetro cúbico), por ser la densidad uno, coincide con el peso en kgs.

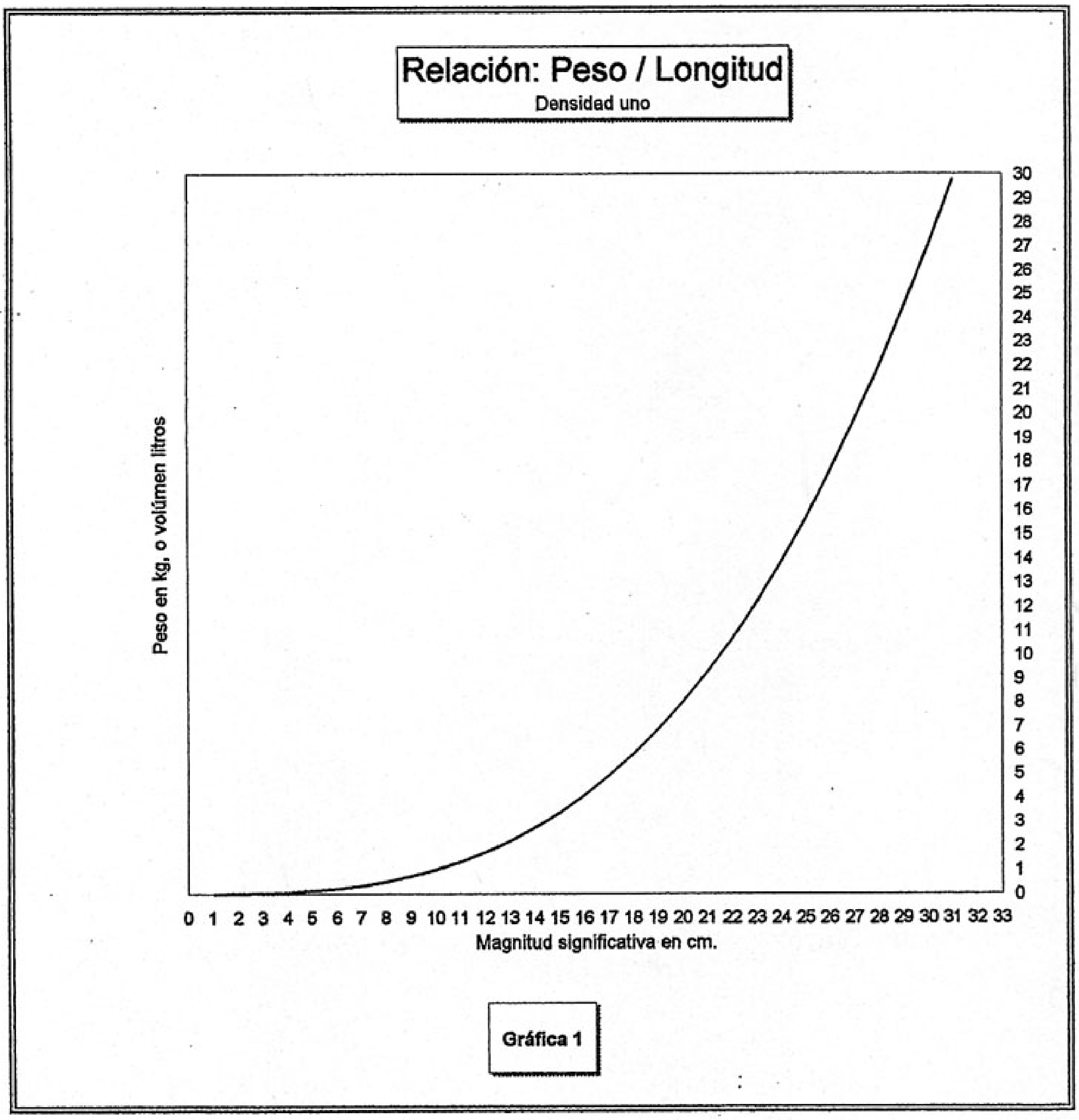
Su relación con la arista L en cms es la siguiente:

$$V\,(\text{litros}) = P\,(\text{Kgs}) = \frac{L^3}{1000}$$

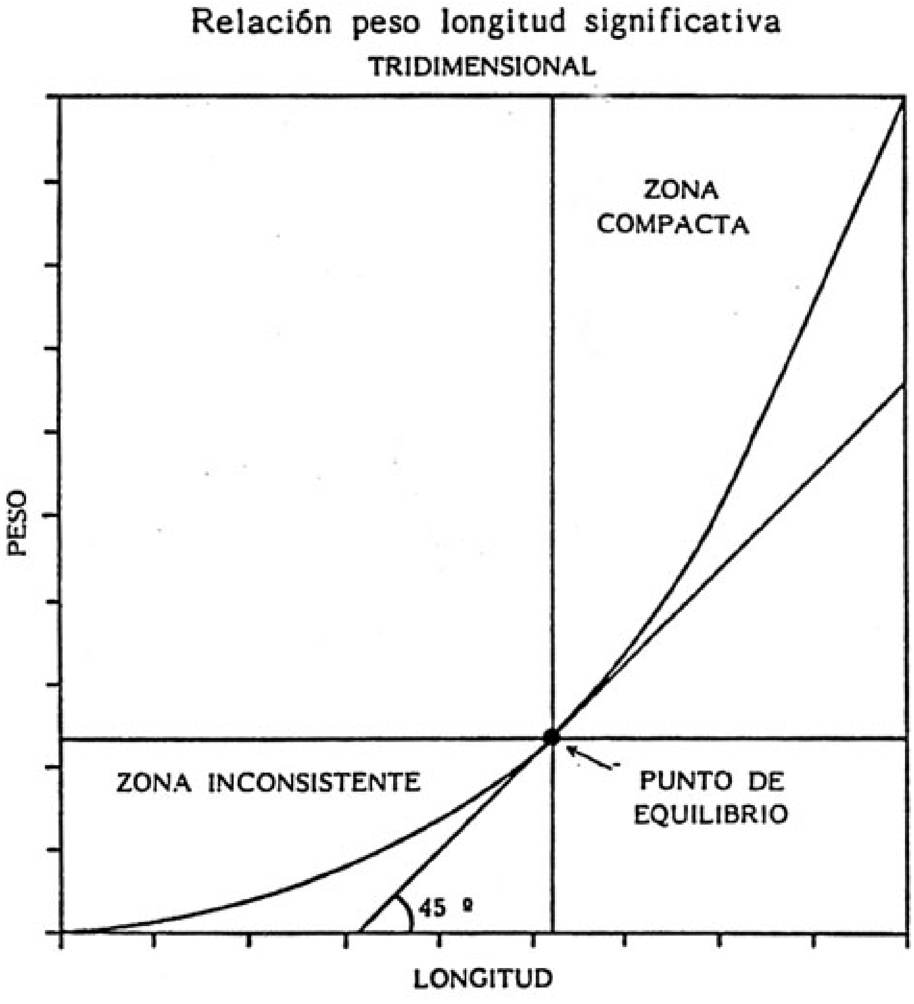
Esta expresión podemos tabularla y expresarla gráficamente de la siguiente manera, para diferentes tamaños de este cubo:

Longitud en cm.	Volumen en litros (dm3)	Peso en Kg (dens=1)
1	0,001	0,001
2	0,008	0,008
3	0,027	0,027
4	0,064	0,064
5	0,125	0,125
6	0,216	0,216
7	0,343	0,343
8	0,512	0,512
9	0,729	0,729
10	1,000	1,000
11	1,331	1,331
12	1,728	1,728
13	2,197	2,197
14	2,744	2,744
15	3,375	3,375
16	4,096	4,096
17	4,913	4,913
18	5,832	5,832
19	6,859	6,859
20	8,000	8,000
21	9,261	9,261
22	10,648	10,648
23	12,167	12,167
24	13,824	13,824
25	15,625	15,625
26	17,576	17,576
27	19,683	19,683
28	21,952	21,952
29	24,389	24,389
30	27,000	27,000
31	29,791	29,791

Tabla 1


Relación: Peso / Longitud
Densidad uno
Peso en kg, o volúmen litros
30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33
Magnitud significativa en cm.
Gráfica 1

Gráfica 1


Relación peso longitud significativa
TRIDIMENSIONAL
ZONA
COMPACTA
PESO
ZONA INCONSISTENTE
PUNTO DE
EQUILIBRIO
45 º
LONGITUD

Gráfica 2

De la observación de la **tabla 1**, vemos que aumentando un centímetro en la arista del cubo, pasando de 10 cm a 11, por ejemplo, aumenta el peso 0,33 Kgs.

Sin embargo pasando de 20 a 21 el incremento también de un cm implica 1,26 kgs; y pasando de 30 a 31 cm el aumento de peso se convierte en 2,79 kgs.

Observando la gráfica **nº 1** tendríamos un punto a partir del cual un aumento consecutivo de 1 cm empezaría a producir un aumento de peso cada vez mayor (Este es el Punto de Equilibrio).

En el caso actual en que consideramos un cubo de densidad uno, y las unidades el Kg y el centímetro, el *Punto de Equilibrio* se corresponde con 18,26 cm y 6,08 kgs que es el punto en que la tangente a la curva en ese punto tiene el valor de 1 (Graf 2).

Matemáticamente se obtiene este valor aplicando la derivada a la ecuación que relaciona peso y longitud más significativa:

$$P\,(\mathrm{Kgs}) = \frac{L^3}{1000}$$

Derivando esta ecuación la igualamos a 1 (valor de la tangente en el punto buscado)

$$p' = 3\,\frac{L^2}{1000} = 1$$

De aquí obtenemos los valores de L en el *Punto de Equilibrio:*

$$L = \sqrt{\frac{1000}{3}} = 18{,}26\,\text{cms.}$$

que se corresponde con un peso de 6,09 Kgs.

Conviene observar la gráfica 2, en que de una manera descriptiva queda definida la zona *compacta* y la *inconsistente*, para una figura tridimensional cualquiera en la cual se va aumentando sucesivamente su tamaño y consecuentemente su peso, sea cual sea la unidad de peso y de longitud empleada.

Lo interesante es ver que en la zona *inconsistente* aumentando en una unidad de longitud, apenas influye sobre el peso. Tanto menos cuanto más alejados estemos del *Punto de Equilibrio*.

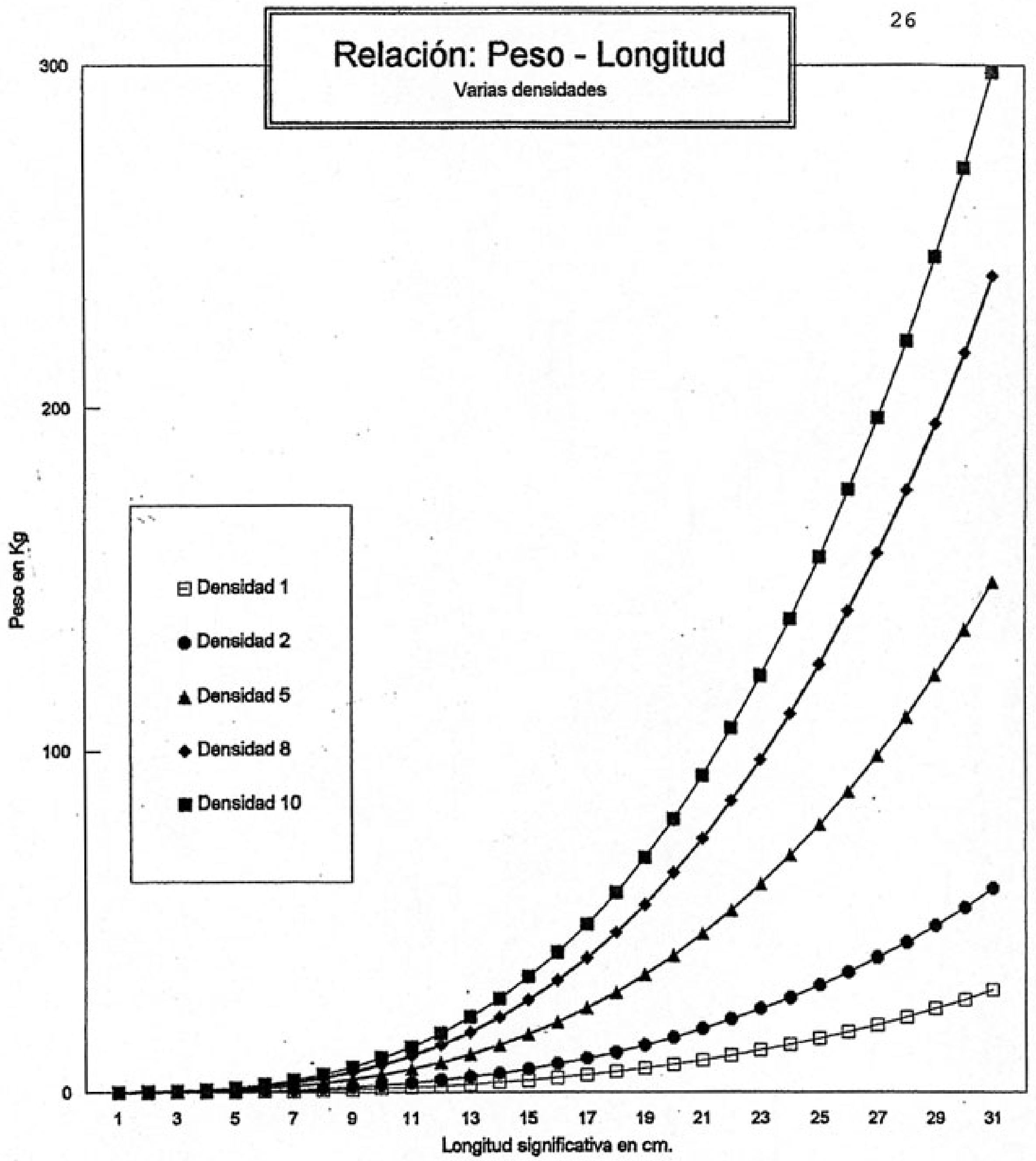
Sin embargo en la zona *compacta* el aumento de una unidad de longitud implica mayor aumento de peso cuanto más nos alejamos del Punto de Equilibrio.

Toda figura tridimensional puede representarse de acuerdo con una curva en que es aplicable este razonamiento, aunque naturalmente cada una sea diferente y tenga el *Punto de Equilibrio* en un lugar u otro, dependiendo de la forma y de la densidad (ver gráfica 3).

25

Longitud. cm	Volumen litros (dm3)	Peso en Kg Densidad 1	Densidad 2	Densidad 5	Densidad 8	Densidad 10
1	0,001	0,001	0,002	0,005	0,008	0,010
2	0,01	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08
3	0,03	0,03	0,05	0,14	0,22	0,27
4	0,06	0,06	0,13	0,32	0,51	0,64
5	0,13	0,13	0,25	0,63	1,0	1,3
6	0,22	0,22	0,43	1,1	1,7	2,2
7	0,34	0,34	0,69	1,7	2,7	3,4
8	0,51	0,51	1,0	2,6	4,1	5,1
9	0,73	0,73	1,5	3,6	5,8	7,3
10	1,0	1,0	2,0	5,0	8,0	10,0
11	1,3	1,3	2,7	6,7	10,6	13,3
12	1,7	1,7	3,5	8,6	13,8	17,3
13	2,2	2,2	4,4	11,0	17,6	22,0
14	2,7	2,7	5,5	13,7	22,0	27,4
15	3,4	3,4	6,8	16,9	27,0	33,8
16	4,1	4,1	8,2	20,5	32,8	41,0
17	4,9	4,9	9,8	24,6	39,3	49,1
18	5,8	5,8	11,7	29,2	46,7	58,3
19	6,9	6,9	13,7	34,3	54,9	68,6
20	8,0	8,0	16,0	40,0	64,0	80,0
21	9,3	9,3	18,5	46,3	74,1	92,6
22	10,6	10,6	21,3	53,2	85,2	106,5
23	12,2	12,2	24,3	60,8	97,3	121,7
24	13,8	13,8	27,6	69,1	110,6	138,2
25	15,6	15,6	31,3	78,1	125,0	156,3
26	17,6	17,6	35,2	87,9	140,6	175,8
27	19,7	19,7	39,4	98,4	157,5	196,8
28	22,0	22,0	43,9	109,8	175,6	219,5
29	24,4	24,4	48,8	121,9	195,1	243,9
30	27,0	27,0	54,0	135,0	216,0	270,0
31	29,8	29,8	59,6	149,0	238,3	297,9

Tabla 2


26
Relación: Peso - Longitud
Varias densidades
300
200
100
0
Peso en Kg
Densidad 1
Densidad 2
Densidad 5
Densidad 8
Densidad 10
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25
27
29
31
Longitud significativa en cm.

Gráfica 3

Nos hemos introducido en la fórmula del *Punto de Equilibrio*, haciendo uso de simplificaciones, no solamente en cuanto a la forma tridimensional elemental de un cubo y en cuanto a la longitud significativa, sino también en cuanto a la utilización de las unidades.

Hemos empleado el cm y el kilogramo, como pudiéramos haber empleado el pie y la libra.

Sobre la elección o modificación de las unidades a emplear nos detendremos más adelante en este trabajo.

Previamente estableceremos las interrelaciones existentes en el *Punto de Equilibrio, e*ntre peso y longitud para diferentes materiales (distintas densidades) y para distintas longitudes significativas elegidas.

<u>Relaciones en el *Punto de Equilibrio*</u>

Una vez definido el *Punto de Equilibrio*, establecemos las relaciones existentes para ese punto, entre peso y longitud significativa, de una figura dada y a su vez la relación existente de longitudes entre sí y pesos entre sí para diferentes densidades.

a) <u>*Relación peso-longitud en el* Punto de Equilibrio</u>

Esta relación es siempre:

$$L(cm)/P(Kg)= 3$$

para cualquier forma, para cualquier densidad y para cualquier longitud significativa tomada y exclusivamente en el *Punto de Equilibrio*

b) <u>Relación de longitudes o pesos frente a densidad para una forma dada en el *Punto de Equilibrio*.</u>

$$P_1 * \sqrt{D_1} = P_2 * \sqrt{D_2}$$

$$L_1 * \sqrt{D_1} = L_2 * \sqrt{D_2}$$

Fundamento matemático de las afirmaciones del apartado a) y b).

a) Argumento demostrativo: L= 3 * P

El peso (P) es igual a la longitud (L) al cubo, multiplicado por una constante, en que está implícita la densidad; la longitud significativa tomada y la unidad de longitud y peso empleada por tanto:

$$P = K*L^3$$

En el punto de equilibrio, la derivada del peso es igual a uno, es decir la tangente en ese punto forma 45º co el eje de la abscisa.

$$p' = 3K*L^2 = 1$$

De aquí sacamos el valor de K

$$K = \frac{1}{3*L^2}$$

Este valor de K se lleva a la ecuación que liga peso con longitud y tenemos:

$$P = \frac{1}{3*L^2}*L^3 = \frac{L}{3}$$

Que equivale a: L = 3 P

a) Argumento comprobador: L = 3 * P

En la página 19 en que hablábamos de un cubo cuyo *Punto de Equilibrio* lo ubicábamos en el Peso = 6,08 Kgs. y la Longitud en 18,25 cms. se da esta relación:

$$\frac{18{,}25}{6{,}08} = 3$$

Una segunda comprobación puede hacerse con un cubo de densidad 8,5 en que la diagonal en este caso es la longitud significativa.

Tomando kgs y cms como unidades tenemos:

La diagonal es

$$D^2 = 3 * L^2 \text{ ------} L = \sqrt{\frac{D^2}{3}} = \frac{D}{\sqrt{3}}$$

El peso en kgs será.

$$p = 8{,}5 * \frac{L^3}{1000} = 8{,}5 * \frac{D^3}{1000 * \sqrt{3^3}} = 1$$

Igualando a uno la derivada del peso sacamos el valor de D en el Punto de Equilibrio:

$$p' = 8{,}5 * 3 * \frac{D^2}{1000 * \sqrt{3^3}} = 1$$

De aquí obtengo el valor de D

$$D = \sqrt{1000\frac{\sqrt{3^3}}{8,53}} = 14,27$$

Con lo cual tenemos que también para el caso de tomar una densidad distinta a uno y una longitud significativa cualquiera se cumple que :

$$\frac{L}{P} = 3 = \frac{14,27}{4,75}$$

Luego veremos que esta relación que tiene su interés como exclusiva del Punto de Equilibrio, puede ser otra y precisamente aquella que tiene "la Referencia" tomada y que nos servirá para hacerlos cálculos en un supuesto concreto.

Sin embargo se mantiene la relación de "la Referencia" precisamente en el punto de equilibrio y también se mantiene la relación entre las diferentes densidades que argumentamos a continuación.

b) Argumento demostrativo:

Empleamos dos supuestos:

1) El de peso, densidad y longitud significativa "sub 1".

2) El de peso, densidad y longitud significativa "sub 2"

En ambos casos igualamos a uno la derivada del peso que se corresponde en cada caso con el punto en que la tangente a ese punto es 45º, y que no es otro que los correspondientes *Puntos de Equilibrio* .

$$P_i = D_1 * L_1^3$$

$$P_1 = 3 * D_1 * L_1^2 = 1$$

$$P_2 = D_2 * L_2^3$$

$$P_2 = 3 * D_2 * L_2 = 1$$

Ambas expresiones son iguales a uno y podemos igualarlas entre sí, con lo cual llegamos a la siguiente conclusión aplicando la raíz cuadrada a los dos términos:

$$\sqrt{D_1} * L_1 = \sqrt{D_2} * L_2$$

Al argumento demostrativo para el peso se llega sustituyendo en la expresión primera de P sub 1 el valor de L sub 1 en la conclusión anterior:

$$P_1 = D_1 * L_1^3$$

$$P_1 = D_1 * \frac{\sqrt{D_2^3} * L_2^3}{\sqrt{D_1^3}} = D_1 \frac{\sqrt{D_2^3 * \frac{P_2}{D_2}}}{\sqrt{D_1^3}} = \sqrt{D_2} * \frac{P_2}{\sqrt{D_1}}$$

b) Comprobación:

Nos referimos a densidad uno y a densidad 8,5, que es aproximadamente la del bronce:

Para densidad uno en el *Punto de Equilibrio*:

L=0,5774 y P= 0,1926

Para densidad 8,5 en el Punto de Equilibrio:

L=0,198 y P= 0,066

Que efectivamente cumplen las relaciones:

$$0{,}5774 * \sqrt{1} = 0{,}198 * \sqrt{8{,}5}$$

$$0{,}1926 * \sqrt{1} = 0{,}066 * \sqrt{8{,}5}$$

Variación de la longitud significativa

En el caso del cubo hemos venido tomando la arista como longitud significativa de esta figura, sin embargo los valores absolutos del *Punto de Equilibrio* varían según lo que se considere longitud significativa, aunque las relaciones entre peso y longitud para las distintas densidades se mantiene constante.

Nos salimos ahora de la rigidez matemática dando margen a la actuación subjetiva que, en definitiva, es la esencia de la actitud artística. Tomamos ahora en este mismo cubo la diagonal como longitud significativa (Cálculos 2).

Los valores absolutos de peso y longitud en el *Punto de Equilibrio* son diferentes de cuando se tomaba la arista como longitud significativa, pero se sigue cumpliendo la relación longitud/peso igual a 3 e igualmente las relaciones entre densidades.

$$L_1 * \sqrt{D_1} = L_2 * \sqrt{D_2}$$

$$P_1 * \sqrt{D_1} = P_2 * \sqrt{D_2}$$

Igualmente ocurriría para un paralelepípedo o para una esfera, en que se tomara su diámetro por longitud significativa; y en definitiva para cualquier cuerpo tridimensional no necesariamente geométrico, (una escultura, por ejemplo).

Toma de Referencias:

Elección de Unidades:

Modelo equilibrado tomado como referencia.

- **Aplicación del equilibrio humano a un cubo de densidad 1.**
- **Aplicación del equilibrio humano a un cubo de densidad 8,5.**

Conclusión parcial:

Mantenimiento de las relaciones de *densidades* en el *punto de equilibrio*

Elección de unidades

La utilización del centímetro y el kilogramo hecha hasta este momento no tiene más sentido que el meramente matemático.

La sensación de contundencia es independiente del tipo de unidades que se manejen, bien sean centímetros, pies, millas, o palmos, por tanto si queremos seguir en nuestro empeño de cuantificar, hemos de prescindir de la utilización de estas unidades de medidas tal cual las podemos apreciar y hemos de recurrir a hacer una reconversión a *unidades convencionales,* haciendo uso de una *referencia* que pudiéramos considerar como equilibrada.

La relación matemática entre *unidades convencionales* de longitud y peso sigue siendo en el *Punto de Equilibrio:*

$$3\ P = L = 3\ V$$

Para el caso de densidad = 1.

Para otras densidades $3\ P = L$

Sin embargo, no vamos a utilizar unidades convencionales a las que habría que dar un nombre.

A la hora de operar matemáticamente vamos a utilizar las unidades operativas normales (metro, centímetro, Kilogramo...)

Cuando estas *unidades convencionales* se vuelvan a trasladar a unidades operativas (en nuestra cultura utilizamos el sistema decimal) ya no ha de mantenerse tal relación, entre tamaño y peso.

Esta relación es la siguiente para una figura cúbica:

$$V = L^3$$

Haciendo la derivada del volumen:

$$V' = 3L^2$$

Igualamos a uno la derivada

$$3L^2 = 1$$

$$L = \sqrt{\frac{1}{3}} = 0{,}577$$

$$L^3 = 0{,}1924 = V$$

$$V = P = 0{,}1924$$

El peso se corresponde con el volumen para densidad uno.

Veamos cual es la relación entre longitud y volumen (peso en este caso).

Traduciendo lo anterior a unidades de uso, en nuestro caso las del sistema métrico decimal tendríamos lo siguiente:

Supuesta

Unidad convencional L

L = 2,5 metros (por ejemplo)

El valor de L en el *Punto de Equilibrio* era 0,5777 *unidades convencionales*, y pasa a ser 0,577 * 2,5 = 1,4425 metros.

El volumen que es L elevado al cubo pasa a ser

$$L^3 = 1{,}4425^3 = 3{,}0016\ m^3$$

La relación, ahora, entre volumen y longitud pasa a ser:

3,0016 / 1,4425 = 2,0813

Ahora hay que ver si se cumplen las relaciones con respecto a la densidad en el *Punto de Equilibrio.*

$$L_1 * \sqrt{D_1} = L_2 * \sqrt{D_2}$$

$$P_1 * \sqrt{D_1} = P_2 * \sqrt{D_2}$$

Para esto en lugar de utilizar equivalencias entre L convencional y L de unidades de uso, se parte de un modelo que se considere equilibrado, en el cual se toma una longitud significativa.

Conociendo su peso, la relación entre peso y longitud(en Kgs y centímetros, no tiene porqué ser 3 * P = L, pero convertimos a L en metros para que sí lo sea.

<u>Situación de Modelo Equilibrado tomado como *referencia*</u>

Hombre de 180 centímetros (longitud significativa)

Densidad 1

Peso 80 kgs

Vamos a ver la relación clásica de equilibrio 3 * P = L cómo es aquí.

$$180/80=2,25$$

Por tanto la relación peso longitud empleando centímetros y Kgs aquí es :

$$2,25 * P = L$$

Si queremos hacer un hombre de densidad 8,5 (bronce), habría que aplicar simplemente la relación de densidades y tendríamos el objeto equilibrado, pues la relación se sigue cumpliendo.

L = 61,73 cms

P = 27,43 Kgs

Este es el tamaño y el peso de una figura de densidad 8,5, equilibrada con respecto al hombre de referencia, y en el cual, igual que en este caso se da al relación: L/P = 2,25

Aplicación del equilibrio humano para un cubo de densidad uno.

En este caso el peso, en Kgs, de un cubo de densidad uno sería:

$$P_K = \frac{L^3}{1000}$$

donde :

L son cms, para aplicar las mismas unidades empleadas en el modelo equilibrado utilizado (Hombre de 180 cms y 80 Kgs de peso).

La relación entre peso y longitud es:

2,25 * P = L

lo que implica que:

$$P = L/2,25 = L^3/1000$$

$$L = \sqrt{1000/2,25} = 21,08$$

$$P = 21,08/2,25 = 9,37$$

Así pues las dimensiones de un cubo equilibrado con referencia a un cierto hombre (180 cms y 80 Kgs) sería de 21,08 cms de artista, cuyo peso, para densidad uno, es 9,37 Kgs.

Esta relación se mantiene solamente en el *Punto de Equilibrio.*

Equilibrio humano aplicado a un cubo de densidad 8,5.

¿Permanece la relación entre las densidades y la longitud y entre las densidades y los pesos?:

$$L_1 * \sqrt{D_1} = L_2 * \sqrt{D_2}$$

$$P_1 * \sqrt{D_1} = P_2 * \sqrt{D_2}$$

cuando se ha modificado la relación 3 * P = L ?

La respuesta es SI.

Lo hacemos por los dos caminos:

a) Directamente:

$$P_{Kg} = 8,5 * \frac{L^3}{1000}$$

$$2,25 * P = L$$

Despejamos P en ambas ecuaciones e igualamos:

$$L = \sqrt{1000}/19,123 = 7,23$$

$$P = 7,2/2,25 = 3,21$$

b)Utilizando la relación entre densidades:

$$L_1 * \sqrt{D_1} = L_2 * \sqrt{D_2}$$
$$P_1 * \sqrt{D_1} = P_2 * \sqrt{D_2}$$

$$3,21 * \sqrt{8,5} = 9,37 * \sqrt{1}$$
$$31,08 * \sqrt{1} = 7,23 * \sqrt{8,5}$$

Tendría una arista de 7,23 cms y pesaría 3,21 Kgs.

Conclusión parcial

La respuesta es que sí se mantienen las relaciones, aunque se haya tomado como unidad ideal la del hombre de 180 centímetros y se haya aplicado a cubos de densidad 1 u 8,5.

Aplicaciones

Figuras semejantes:

Aplicación de misma *compacidad* variando la *densidad*.

Indiferencia de la *longitud significativa* tomada.

Figuras semejantes

Cambio de *densidad* y de *longitud significativa* para dos figuras *semejantes*

Si se quiere hacer un hombre de piedra de densidad 2,5 equilibrado de acuerdo con el modelo anteriormente descrito de 180 cms, densidad 1 y 80 Kgs de peso y utilizando la altura como longitud significativa obtendríamos las dimensiones siguientes:

a)

$$L_1 * \sqrt{D_1} = L_2 * \sqrt{D_2}$$
$$P_1 * \sqrt{D_1} = P_2 * \sqrt{D_2}$$

$$80 * 1 = P_{2,5} \sqrt{2,5}$$
$$P_{2,5} = \frac{80}{\sqrt{2,5}} 50,57 \text{ Kg}$$

P * 2'25 = L

50,54 * 2,25 = 113,84 cms

que coincide haciéndolo por el otro camino:

b)

$$180 * 1 = L * \sqrt{2,5}$$
$$L = \frac{180}{\sqrt{2,5}} = 113,84 \text{ cms}$$

Indiferencia de laaa longitud significativa tomada

¿Qué pasa si tomamos otra *longitud significativa* diferente de la altura?

Vamos a tomar para dar respuesta a esta pregunta, por ejemplo, media altura del hombre, del mismo modo que podríamos haber tomado la longitud de la cabeza , etc..

La respuesta es que es indiferente la longitud significativa tomada, para deducir tamaño de figuras semejantes de diferente densidad.

Aquí actuamos como en el caso anterior, es decir, tomar de modelo un hombre de 180 cms, densidad uno y 80 Kgs de peso, para ver cómo resultaría una figura semejante hecha de piedra de densidad 2'5:

La mitad de 180 cms son 90 cms que es lo que utilizamos como longitud significativa:

$$90 * \sqrt{1} = L_{2,5} * \sqrt{2,5}$$

$$L_{2,5} = \frac{90}{\sqrt{2,5}} = 56,92$$

que es la mitad del nuevo hombre de piedra, y que al multiplicar por dos, toma la misma longitud de cuando habíamos tomado la longitud total (180 cms) como longitud significativa:

$$56,92 * 2 = 113,84 \text{ cms}$$

Elección de referencias en figuras no semejantes

Aportación subjetiva del realizador.

Elección de referencias

El problema surge cuando se aplica un modelo de *referencia* a otra figura no semejante. Por ejemplo, aplicar la *referencia* del hombre a un paralelepípedo.

Aquí es donde queda abierta la **aportación subjetiva** del creador que ha de tomar la referencia de donde quiera para aplicarla donde quiera.

De la elección libre de estas *referencias*, dependerá el resultado más o menos afortunado dentro del concepto que estamos manejando.

En el caso de hacer una figura *semejante* es muy probable salir airoso, aplicando la matemática con respecto a las *referencias* tomadas: Por ejemplo, hacer un caballo más pequeño de material más denso y equilibrado, tomando como *referencia* otro de piedra.

El problema se complica cuando ha de elegirse una referencia, para una figura no precisamente figurativa.

La transgresión de la regla

Propuesta de solución

Ejemplo de solución práctica eludiendo la semejanza completa.

" Hasta ahora tenemos que una figura mantiene su grado de *compacidad* al hacerse de mayor *tamaño* disminuyendo su *densidad*, y por otra parte habría de aumentar su *densidad* si quiere tenerse de menor *tamaño* y mantener igualmente el grado de *compacidad*".

La transgresión de la regla

Un caso algo más complicado que trasladar un hombre ideal de densidad uno, a otra densidad, sería trasladar una obra considerada como referencia, por ejemplo La Victoria de Samotracia a otra Victoria precisamente de densidad inferior, por ejemplo madera, y de un tamaño también inferior.

Propuesta de solución

Consecución de escultura equilibrada de menor tamaño y densidad de la tomada como referencia.

La posibilidad de transportar a madera (densidad = 0,9) una Victoria de Samotracia de 245 de altura; 272,22 Kgs de peso y densidad 2,5; aplicando las relaciones existentes sería:

$$245 * \sqrt{2{,}5} = L\sqrt{0{,}9}$$
$$L = 225 * \frac{\sqrt{2{,}5}}{\sqrt{0{,}9}} = 408{,}3$$

$$272{,}22 * \sqrt{2{,}5} = P\sqrt{0{,}9}$$
$$P = 272{,}22 * \frac{\sqrt{2{,}5}}{\sqrt{0{,}9}} = 453{,}7$$

Nos saldría una forma de 4,08 metros y 430,42 kgs de peso.

Esta figura en principio parecería una cosa un tanto exagerada, aunque matemáticamente posible.

La alternativa de recurrir a densidades mayores, siempre sin salirnos de figuras semejantes, parece más real, y haciendo el planteamiento habitual tendríamos, tomando la densidad del bronce (8'5).

$$245 * \sqrt{2,5} = L\sqrt{8,5}$$

$$L_{8,5} = 245 * \frac{\sqrt{2,5}}{\sqrt{8,5}} = 132,86$$

$$272,22 * \sqrt{2,5} = P * \sqrt{8,5}$$

$$P_{8,5} = 272,22 * \frac{\sqrt{2,5}}{\sqrt{8,5}} = 148,91$$

Así pues una figura de densidad de bronce con la misma rotundidad de la Victoria de Samotracia de París sería de 132,86 centímetros de alta y de un peso de 148,91 Kgs.

La frustración en cuanto a la operatividad de reproducción en madera, está compensada por el concepto proximidad.

La Victoria de Samotracia está compensada para la distancia a que ha de observarse, aunque esté alejada por completo del equilibrio con respecto a una mujer real

Pero el concepto compensación como aproximación al *Punto de Equilibrio* debe contemplarse en términos de proximidad física, como sensación de peso al ser tocada e incluso tomada la pieza objeto de consideración.

Si la Victoria de Samotracia se hubiera concebido en términos de proximidad y tomando como referencia lo que parecería ser una situación aceptable, por ejemplo una mujer de 170 cms de altura y 65 kgs de peso con densidad uno tendríamos que la traducción a piedra de densidad 2,5 debería haber sido según la relación ya utilizada:

$$170\sqrt{1} = L\sqrt{2{,}5}$$
$$L = \frac{170}{\sqrt{2{,}5}} = 107{,}5$$

$$65\sqrt{1} = P\sqrt{2{,}5}$$
$$P = \frac{65}{\sqrt{2{,}5}} = 41{,}1$$

Debería haber tenido una altura de 107,51 cms y un peso de 41,1 Kgs.

Si vamos a madera de densidad 0,9, tendríamos que utilizando siempre la misma relación y la referencia a esta mujer de 170 cms y 65 kgs de peso, siempre habría que ir a un tamaño mayor que la *referencia*, bien sea la Victoria de piedra y 2,45 metros o una persona normal considerada como referencia.

En el caso de la referencia humana la figura en madera sería:.

$$170 * \sqrt{1} = L\sqrt{0,9}$$

$$L = \frac{170}{\sqrt{0,9}} = 1,79$$

Nosotros nos restringimos a situación de proximidad inmediata en este momento.

Solución para utilización de madera, con una referencia de mayor densidad obteniendo un tamaño inferior al de la referencia

La solución es prescindir de la semejanza en base a dar más *rotundidad* a las formas, consciente de que me he introducido en un campo aparentemente no figurativo aunque haya escogido como referencia una forma absolutamente figurativa, como es la figura humana.

De hecho en la práctica lo que he hecho al hacer la escultura que denominé Samotracia, en madera de olivo fue engrosar sustancialmente las alas, que en la figura de referencia son sumamente sutiles.

Con esta acción he compensado densidad que no la tengo, pues el olivo tiene una densidad inferior a uno por grosor que implica materia y por tanto peso.

Así pues en la primitiva relación:

$$L_1 * \sqrt{D_1} = L_2 * \sqrt{D_2}$$
$$P_1 * \sqrt{D_1} = P_2 * \sqrt{D_2}$$

modifico y reduzco la longitud significativa, en el caso de densidad más baja hasta conseguir que se cumpla la igualdad:

$$70 * \sqrt{1} = P\sqrt{0{,}9}$$
$$P_2 = \frac{70}{\sqrt{0{,}9}} = 73{,}78$$

con lo cual permanece la relación de peso.

Pero como el peso no quiero variarlo en esta relación, puedo hasta elegir el *tamaño*, lo cual me llevará a un grado de engrosamiento mayor cuanto más pequeño elija el tamaño. Sin perder por ello la sensación de *compensación y equilibrio.*

En definitiva he de mantener la relación:

$$P_1 * \sqrt{D_1} = P_2 * \sqrt{D_2}$$

aunque me salga de la relación

$$L_1 * \sqrt{D_1} = L_2 * \sqrt{D_2}$$