

## xeometría da forma arquitectónica

departamento de representación + 1ª arquitectónica

profesor: pablo costa buján

**BLOQUE 1:** superficies poliedrales

**BLOQUE 2:** superficies curvas

**BLOQUE 3:** ampliación de teoría de sombras



01 02 03

•Estudio y montaje realizado con fines exclusivamente docentes por el profesor Pablo Costa Buján para la asignatura de “Xeometría da Forma Arquitectónica” de la ETSA de A Coruña, Galicia.

•Exposición de carácter gráfico, plástico y sonoro que pretende potenciar, con pequeños fragmentos de obras ajenas aisladas, ya divulgadas, análisis, comentarios o juicios críticos de diversos autores y su obra; también ilustrando las distintas actividades educativas del aula.

•Su reproducción, distribución y comunicación se enmarca en los parámetros legales redactados según Ley 23/2006, de 7 de julio, por el que se modifica el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, aprobado por el RD 1/1996, de 12 de abril; por ello se establecen las referencias de autoría de su contenido, atendiendo a los esquemas, conceptos, imágenes y videos que se muestran. Su visualización, reproducción, grabación en soporte informático o impresión se concibe, específicamente, como material didáctico. En ningún caso se permite el uso lucrativo, comercial, del presente documento. Los derechos de reproducción serán los establecidos por los titulares de la propiedad intelectual referenciada en los créditos o fichas técnicas adjuntos al final del presente documento, según está regulado en la normativa legal de aplicación.

## VII. AMPLIACIÓN DE LA TEORÍA DE SOMBRAS

### Elementos de teoría del claroscuro

1 TEORÍA DEL CLAROSCURO.  
CONCEPTOS PRINCIPALES

---

2 LEY DEL COSENO

---

3 ESCALA DE TONALIDADES

---

4 LÍNEAS Y ZONAS ISÓFOTAS

---

5 REPRESENTACIÓN POR CAD

---

6 GRADUACIÓN DEL CLAROSCURO  
SOBRE SUPERFICIES DE DOBLE  
CURVATURA. LA ESFERA

---

7 GRADUACIÓN DEL CLAROSCURO SOBRE  
SUPERFICIES DE SIMPLE CURVATURA

---

8 ESCALA DE TONALIDADES EN % DE CLARIDAD

---

9 PUNTOS, LÍNEAS Y ZONAS BRILLANTES

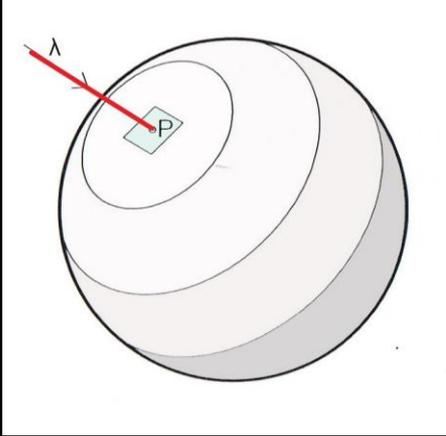
---

# XFA tema doce

profesor : pablo costa buján

# 03

parte tercera, teoría del claroscuro



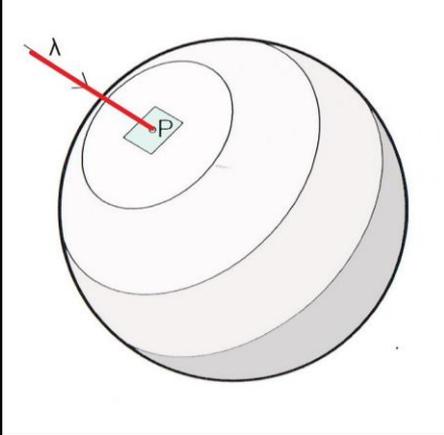
INCIDENCIA DE RAYO DE LUZ SOBRE UN ELEMENTO DE SUPERFICIE ALREDEDOR DE UN PUNTO "P" Y SECUENCIA DE LÍNEAS ISÓFOTAS

# XFA tema doce

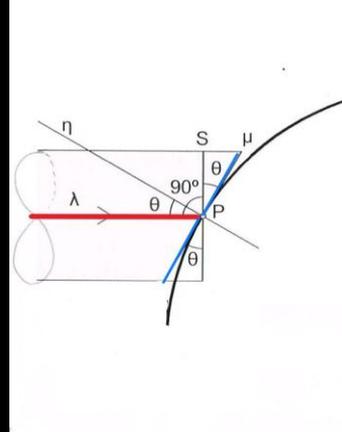
profesor : pablo costa buján

# 03

parte tercera, teoría del claroscuro



INCIDENCIA DE RAYO DE LUZ SOBRE UN ELEMENTO DE SUPERFICIE ALREDEDOR DE UN PUNTO "P" Y SECUENCIA DE LÍNEAS ISÓFOTAS



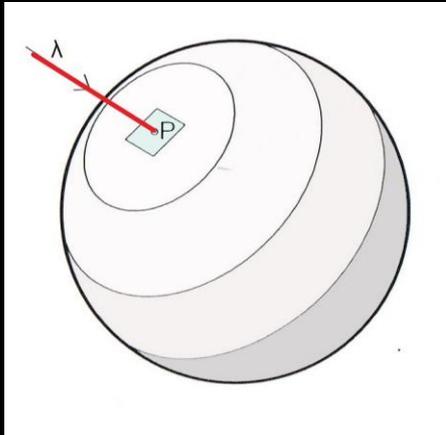
RAYO DE LUZ SOBRE UNA SUP. Y PLANO TANGENTE A LA ENVOLVENTE DE LA MISMA SUPERFICIE

# XFA tema doce

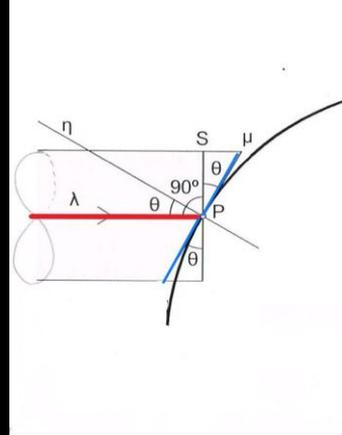
profesor : pablo costa buján

# 03

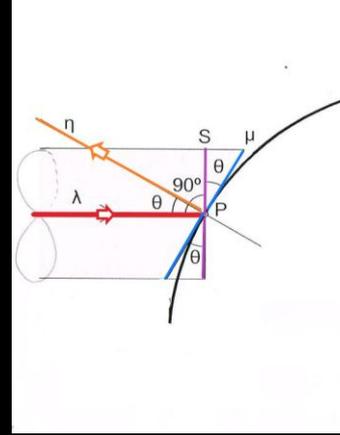
parte tercera, teoría del claroscuro



INCIDENCIA DE RAYO DE LUZ SOBRE UN ELEMENTO DE SUPERFICIE ALREDEDOR DE UN PUNTO "P" Y SECUENCIA DE LÍNEAS ISÓFOTAS



RAYO DE LUZ SOBRE UNA SUP. Y PLANO TANGENTE A LA ENVOLVENTE DE LA MISMA SUPERFICIE



CILINDRO DE LUZ DE SECC. "S" CON ÁNGULO DE INCIDENCIA RESPECTO RAYO NORMAL A LA MISMA Y PLANO TANGENTE

El matemático alsaciano, filósofo, inventor, físico y astrónomo **Johann Heinrich Lambert** (1728-1777), fue un antecesor de Monge con su obra "*Freye Perspective*", *Perspectiva Libre*, publicada en 1759. En 1760 publicó una obra titulada "*Photogrammetria*", sobre la medición de la intensidad de la luz, en la que su interés por la pintura quedó reflejado con logros como el descubrimiento de la **ley del coseno**, conocida en su honor también como de Lambert, base de futuros descubrimientos de la teoría del claroscuro.

Según este teorema, un elemento de superficie alrededor de un punto **P** sobre una superficie, por ejemplo una esfera, puede considerarse contenido en el plano tangente en dicho punto y recibirá la luz correspondiente a un cilindro de rayos luminosos de eje  $\lambda$  y sección recta **S**. Si denominamos  $\theta$  al ángulo de incidencia de  $\lambda$  sobre la superficie, tendremos:

Ángulo de incidencia:  $\theta = \widehat{\lambda\eta} = \widehat{S\mu}$



Cantidad de luz:  $I = k \cdot ds$

Intensidad luminosa:

$$i = I/d\mu = k \cdot ds / d\mu = k(ds/d\mu) = k \cdot \cos \theta$$

$$(ds/d\mu) = \cos \theta$$

Siendo **k** un coeficiente de proporcionalidad del material y  $\theta$  el ángulo de incidencia

Por lo tanto,  $i = k \cdot \cos \theta$ , o ley del coseno, que dice que la intensidad luminosa en un punto de la superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia del rayo luminoso sobre ese punto con la normal a la superficie en el mismo. Esta función varía entre un máximo y un mínimo, tal como se muestra en la figura central inferior. Los puntos de intensidad luminosa mínima definen el **contorno de sombra propia** de la superficie.

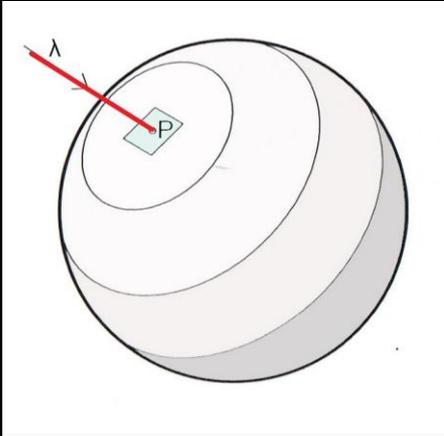
TEXTO RELATIVO A LA LEY DE LAMBERT

# XFA tema doce

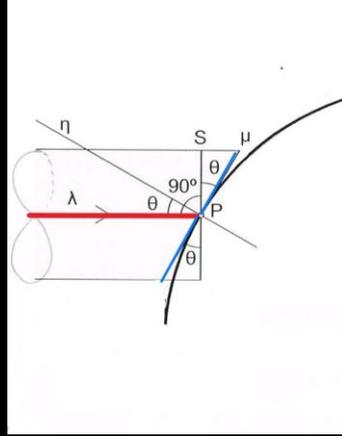
profesor : pablo costa buján

# 03

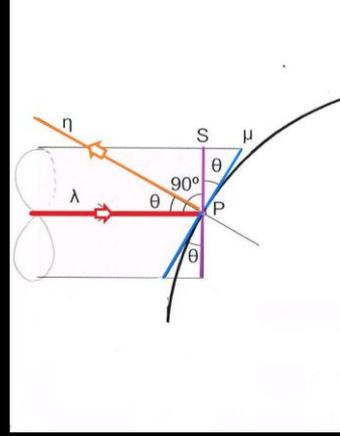
parte tercera, teoría del claroscuro



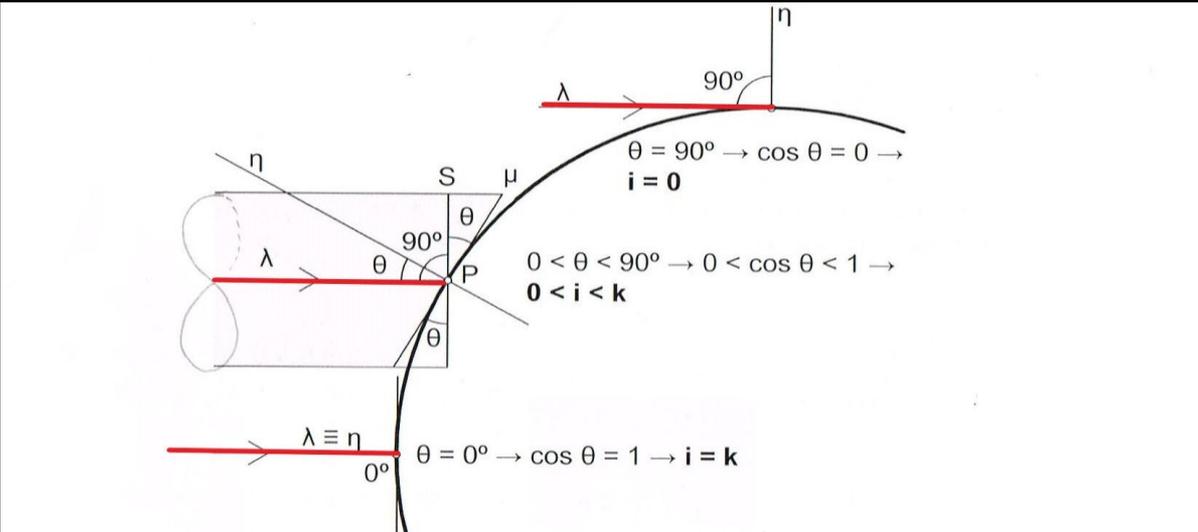
INCIDENCIA DE RAYO DE LUZ SOBRE UN ELEMENTO DE SUPERFICIE ALREDEDOR DE UN PUNTO "P" Y SECUENCIA DE LÍNEAS ISÓFOTAS



RAYO DE LUZ SOBRE UNA SUP. Y PLANO TANGENTE A LA ENVOLVENTE DE LA MISMA SUPERFICIE



CILINDRO DE LUZ DE SECC. "S" CON ÁNGULO DE INCIDENCIA RESPECTO RAYO NORMAL A LA MISMA Y PLANO TANGENTE



APLICACIÓN DE LA LEY DEL COSENO O DE LAMBERT SOBRE UNA SUPERFICIE ESFÉRICA

El matemático alsaciano, filósofo, inventor, físico y astrónomo **Johann Heinrich Lambert** (1728-1777), fue un antecesor de Monge con su obra "*Freye Perspective*", *Perspectiva Libre*, publicada en 1759. En 1760 publicó una obra titulada "*Photogrammetria*", sobre la medición de la intensidad de la luz, en la que su interés por la pintura quedó reflejado con logros como el descubrimiento de la **ley del coseno**, conocida en su honor también como de Lambert, base de futuros descubrimientos de la teoría del claroscuro.

Según este teorema, un elemento de superficie alrededor de un punto **P** sobre una superficie, por ejemplo una esfera, puede considerarse contenido en el plano tangente en dicho punto y recibirá la luz correspondiente a un cilindro de rayos luminosos de eje  $\lambda$  y sección recta **S**. Si denominamos  $\theta$  al ángulo de incidencia de  $\lambda$  sobre la superficie, tendremos:

Ángulo de incidencia:  $\theta = \widehat{\lambda\eta} = \widehat{S\mu}$

Cantidad de luz:  $I = k \cdot ds$

Intensidad luminosa:

$$i = I/d\mu = k \cdot ds / d\mu = k(ds/d\mu) = k \cdot \cos \theta$$

$$(ds/d\mu) = \cos \theta$$

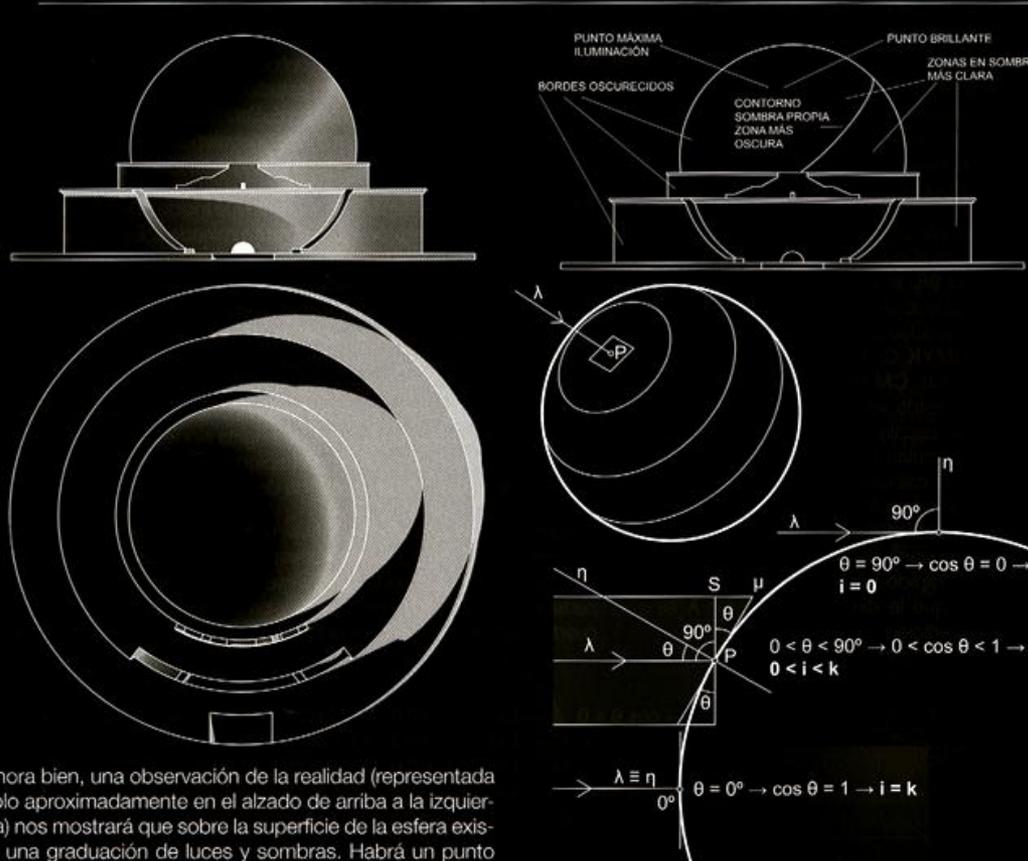
Siendo **k** un coeficiente de proporcionalidad del material y  $\theta$  el ángulo de incidencia

Por lo tanto,  $i = k \cdot \cos \theta$ , o ley del coseno, que dice que la intensidad luminosa en un punto de la superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia del rayo luminoso sobre ese punto con la normal a la superficie en el mismo. Esta función varía entre un máximo y un mínimo, tal como se muestra en la figura central inferior. Los puntos de intensidad luminosa mínima definen el **contorno de sombra propia** de la superficie.

TEXTO RELATIVO A LA LEY DE LAMBERT

## 2 LEY DEL COSENO

1003 0.02



Ahora bien, una observación de la realidad (representada solo aproximadamente en el alzado de arriba a la izquierda) nos mostrará que sobre la superficie de la esfera existe una graduación de luces y sombras. Habrá un punto de máxima iluminación, que será aquel en que el plano tangente a la esfera será perpendicular a la dirección de los rayos luminosos. Desde el contorno de sombra propia hasta ese punto se producirá una graduación tonal continua de sombra a luz. También desde ese punto se producirá un ligero oscurecimiento hacia el borde izquierdo de la esfera. Finalmente, desde dicho contorno de sombra propia hacia el borde derecho de la esfera se producirá un cierto aclarado de la sombra. No obstante,

si la superficie de la esfera fuese brillante, habría un "punto brillante", que podría coincidir o no con el de máxima iluminación, que reflejaría directamente un rayo luminoso hacia el espectador, situado en el caso del alzado en el infinito y perpendicularmente al plano vertical de proyección  $V$ , como veremos más adelante. En el esquema superior a la derecha, dibujado en línea, sin sombras, se han indicado estos extremos.

El matemático alsaciano, filósofo, inventor, físico y astrónomo **Johann Heinrich Lambert** (1728-1777), fue un antecesor de Monge con su obra "*Freye Perspective*", *Perspectiva Libre*, publicada en 1759. En 1760 publicó una obra titulada "*Photogrammetria*", sobre la medición de la intensidad de la luz, en la que su interés por la pintura quedó reflejado con logros como el descubrimiento de la **ley del coseno**, conocida en su honor también como de Lambert, base de futuros descubrimientos de la teoría del claroscuro.

Según este teorema, un elemento de superficie alrededor de un punto  $P$  sobre una superficie, por ejemplo una esfera, puede considerarse contenido en el plano tangente en dicho punto y recibirá la luz correspondiente a un cilindro de rayos luminosos de eje  $\lambda$  y sección recta  $S$ . Si denominamos  $\theta$  al ángulo de incidencia de  $\lambda$  sobre la superficie, tendremos:

$$\text{Ángulo de incidencia: } \theta = \widehat{\lambda\eta} = \widehat{S\mu}$$

$$\text{Cantidad de luz: } I = k \cdot ds$$

Intensidad luminosa:

$$i = I/d\mu = k \cdot ds / d\mu = k(ds/d\mu) = k \cdot \cos \theta$$

$$(ds/d\mu) = \cos \theta$$

Siendo  $k$  un coeficiente de proporcionalidad del material y  $\theta$  el ángulo de incidencia

Por lo tanto,  $i = k \cdot \cos \theta$ , o ley del coseno, que dice que la intensidad luminosa en un punto de la superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia del rayo luminoso sobre ese punto con la normal a la superficie en el mismo. Esta función varía entre un máximo y un mínimo, tal como se muestra en la figura central inferior. Los puntos de intensidad luminosa mínima definen el **contorno de sombra propia** de la superficie.

### 3 ESCALA DE TONALIDADES

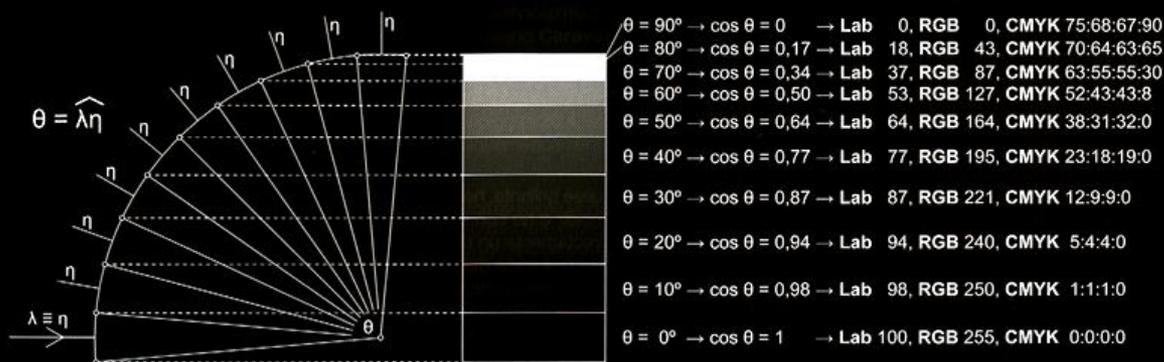
Se puede establecer una **escala de tonalidades** en un dibujo a partir de la ley del coseno. Evidentemente se trata de una simplificación, dado que en teoría existen millones de tonalidades posibles. Más allá de una decena de tonos de gris, incluido el blanco y el negro, resultan difíciles de distinguir (al menos en una representación bidimensional como puede ser un dibujo).

En la figura inferior se ha establecido gráficamente la función cosenoidal para incrementos de  $10^\circ$ . Se ha dibujado la normal a la superficie desde un ángulo de incidencia  $\theta = 0^\circ$  hasta  $\theta = 90^\circ$ , es decir, desde un valor de  $\cos \theta = 1$  hasta  $\cos \theta = 0$ , para un valor de  $k = 1$ , que se podría similar a una superficie blanco mate.

En el gráfico se ha supuesto que la luz incide horizontalmente sobre una superficie esférica dibujada en sección. En función del ángulo de incidencia se calcula el coseno de dicho ángulo y por tanto la intensidad de iluminación en cada tramo de  $10^\circ$  de la superficie. Se puede asimilar este valor al espacio de color **Lab** (CIE 1976  $L^*a^*b^*$ ), de la

*Commission Internationale d'Éclairage* (Comisión Internacional de la Iluminación). También se ha calculado aproximadamente el valor de las tonalidades de gris correspondientes a los valores del coseno de  $\theta$  en los espacios de color **RGB**, utilizado por los monitores y televisores y para **CMYK**, utilizado en impresoras y publicaciones en papel.

Es decir, por ejemplo para  $\theta = 10^\circ$  el coseno de  $\theta$  vale **0,98**, lo que en el espacio de color **Lab** supone un valor de **L: 98, a: 0, b: 0**, abreviadamente **Lab 98**. En el espacio de color **RGB**, **R: 250, G: 250, B: 250**, abreviadamente **RGB 250**. En el espacio de color **CMYK** **C: 1%, M: 1%, Y: 1%, K: 0%**, abreviadamente **CMYK 1:1:1:0**. Aunque la conversión entre estos valores no es exacta, es suficiente para la escala de tonalidades que se busca (existen fórmulas más exactas, pero más complejas para su cálculo). Como puede observarse, si bien para ángulos pequeños, es decir, entre  $0^\circ$  y  $40^\circ$ , la intensidad de iluminación varía muy lentamente, a partir de  $40^\circ$  el oscurecimiento es cada vez más rápido hasta llegar a la máxima oscuridad, en la que la dirección de la luz  $\lambda$  es tangente a la superficie.



### 4 LÍNEAS Y ZONAS ISÓFOTAS

Los puntos de igual intensidad luminosa reciben la luz con el mismo ángulo de incidencia y definen unas curvas que **Ludwig E. H. Burmester** (1840-1927) estudió en su tesis doctoral "*Über die Elemente einer Theorie der Isophoten*", *Sobre los elementos de una teoría de isótopas*, de 1865. Estas líneas equivalen a las curvas de nivel de un terreno, en cuanto estas unen los puntos de igual cota del mismo.

En el caso de que la superficie sobre la que incide la luz sea un plano, todos sus puntos estarán igualmente iluminados. En consecuencia, sobre un poliedro tendremos que las caras se pueden considerar como "zonas isótopas" limitadas por las aristas. En las figuras de la página siguiente se ha representado una bóveda compuesta por la combinación de un poliedro semirregular **A IX**, Gran Rombicosidodecaedro y un prisma recto. Sus caras serán las zonas isótopas de la misma y su claridad aparente dependerá del ángulo  $\theta$  que forma en cada cara la dirección de los rayos luminosos  $\lambda$  con la normal  $\eta$  a la misma. En el dibujo del centro de la página siguiente se ha calculado, de acuerdo con lo expuesto en el epígrafe **12.6** (Volumen 1, p. 180) el ángulo  $\theta$  para el punto **A** en una de las caras del poliedro.

El contorno de sombra propia está definido en la axonometría por la unión de los puntos **1 a 8**, que corresponde con el perímetro de la sombra arrojada. Como puede observarse, la diferenciación entre las caras pertenecientes a la sombra propia y las contiguas, sobre todo la cara cuadrada correspondiente al punto **3**, puede resultar difícil de distinguir,

## Graduación del claroscuro - conceptos generales aplicados

### 6 GRADUACIÓN DEL CLAROSCURO SOBRE SUPERFICIES DE DOBLE CURVATURA. LA ESFERA

En el caso de una superficie de doble curvatura, como puede ser una esfera, no existirán zonas sino líneas isótopas, que como hemos visto unirán los puntos igualmente iluminados sobre la superficie. En las figuras centrales se ha representado en axonometría ortogonal una esfera iluminada según la dirección  $\lambda$  de los rayos luminosos, con y sin las líneas isótopas. A la izquierda, el esquema de generación de estas últimas.

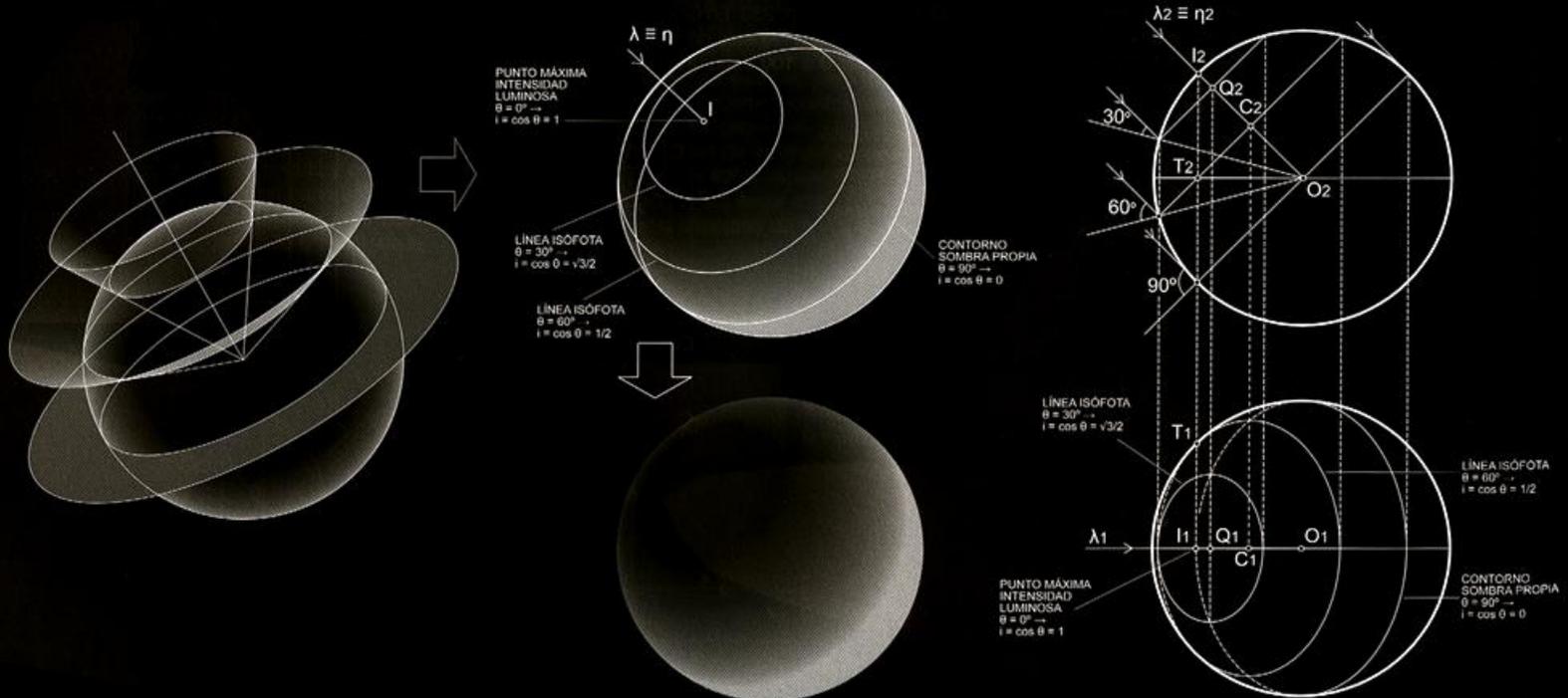
Sobre una superficie esférica la normal a la superficie en un punto  $I$  coincide con el radio que pasa por dicho punto. Las normales a la superficie que forman con los rayos luminosos  $\lambda$  un mismo ángulo  $\theta$  constituyen las generatrices

de un cono de revolución de eje el diámetro  $d$  de la esfera paralelo a la dirección de los rayos luminosos y vértice el centro de la esfera. La intersección de estos conos con la parte iluminada de esta última son secciones planas de la esfera (círculos) por planos paralelos entre sí y perpendiculares al diámetro  $d$  y constituyen las líneas isótopas.

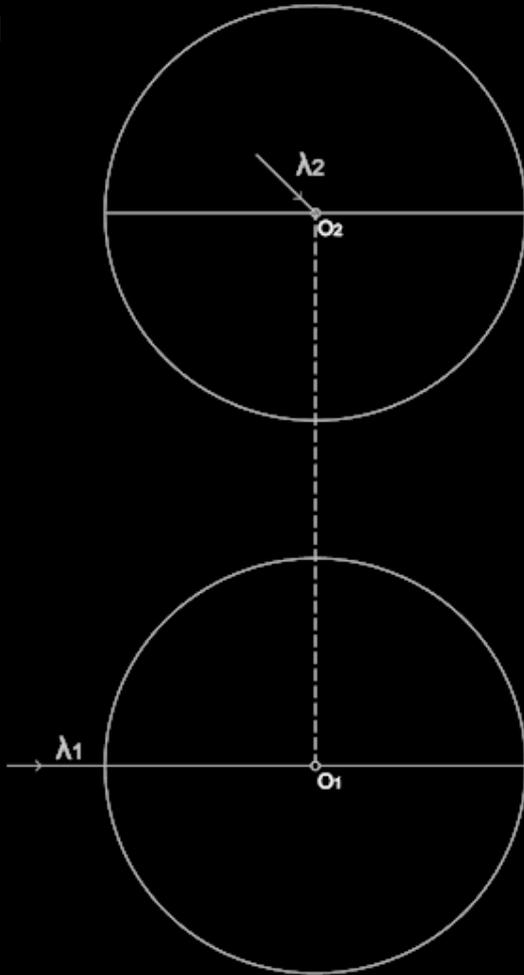
En el límite, si  $\theta = 0^\circ$ , el cono se reduce al rayo luminoso que coincide con el diámetro  $d$ , que corta a la esfera en el punto  $I$ , punto de máxima intensidad luminosa. Y en el otro sentido si  $\theta = 90^\circ$ , el cono se convierte en el plano perpendicular al rayo, que corta a la esfera según un círculo máximo que será el contorno de sombra propia de la misma.

En el dibujo superior central se han dibujado el punto  $I$ , en el que  $\theta = 0^\circ$ , punto de máxima intensidad luminosa, las líneas isótopas correspondientes a  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 60^\circ$ , en la que la intensidad de iluminación es del 50% y el contorno de sombra propia, es decir, la línea isótopa para  $\theta = 90^\circ$ .

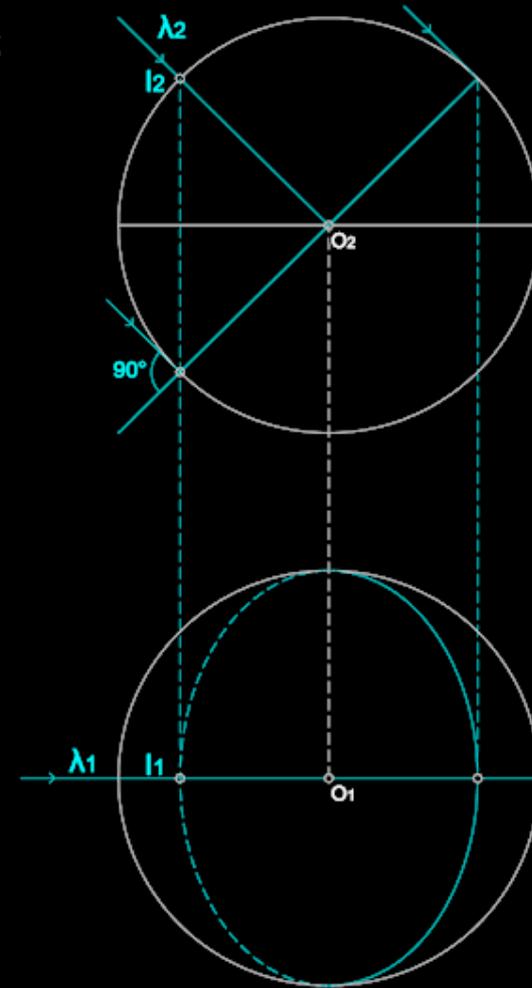
En la figura bajo estas líneas se han obtenido en planta en sistema diédrico los puntos y líneas correspondientes a  $\theta = 0^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 60^\circ$  y  $\theta = 90^\circ$ . Se ha supuesto la dirección de  $\lambda$  paralela al plano vertical de proyección  $V$ . Con esta dirección las líneas isótopas y el contorno de sombra propia se proyectan en alzado como segmentos y en planta como elipses.



## PASO 1



## PASO 2

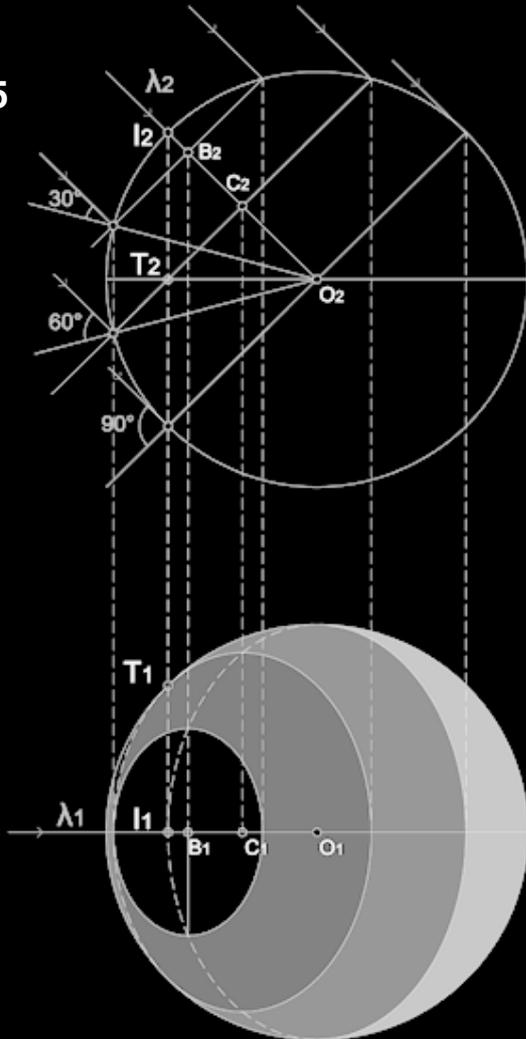


RAYO  $\lambda$  PARALELO A "V"

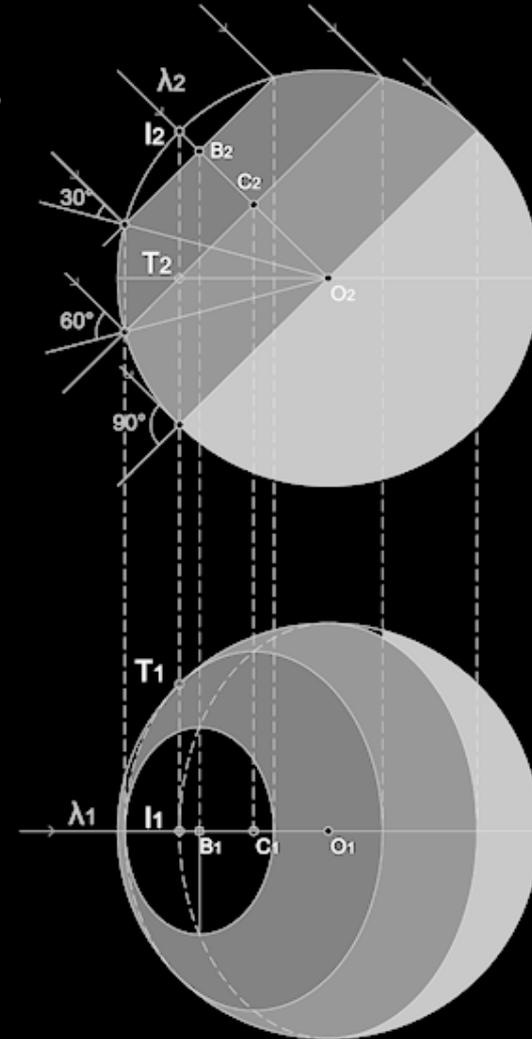


Graduación del clarooscuro - sobre superficie de doble curvatura. La esfera

PASO 5



PASO 6



RAYO  $\lambda$  PARALELO A "V"

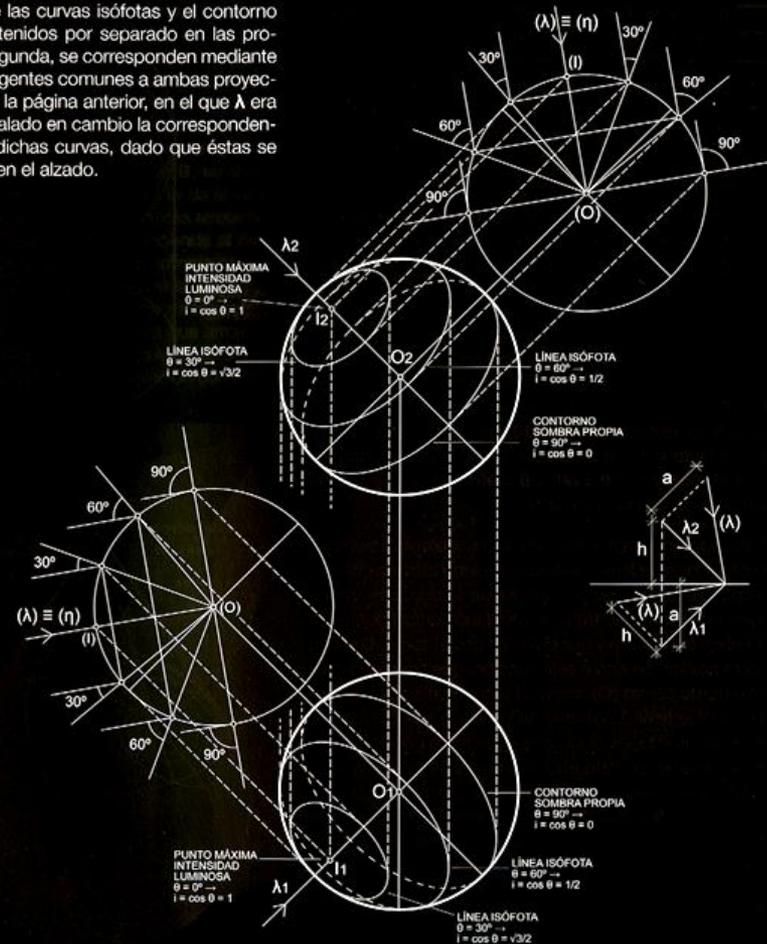
## Graduación del claroscuro - sobre superficie de doble curvatura

En la figura de esta página se ha supuesto la luz convencionalmente a  $45^\circ$ . Para resolver el problema bastará aplicar el trazado anterior mediante los correspondientes cambios de plano respecto a los planos horizontal y vertical de proyección.

Se han seguido los siguientes pasos:

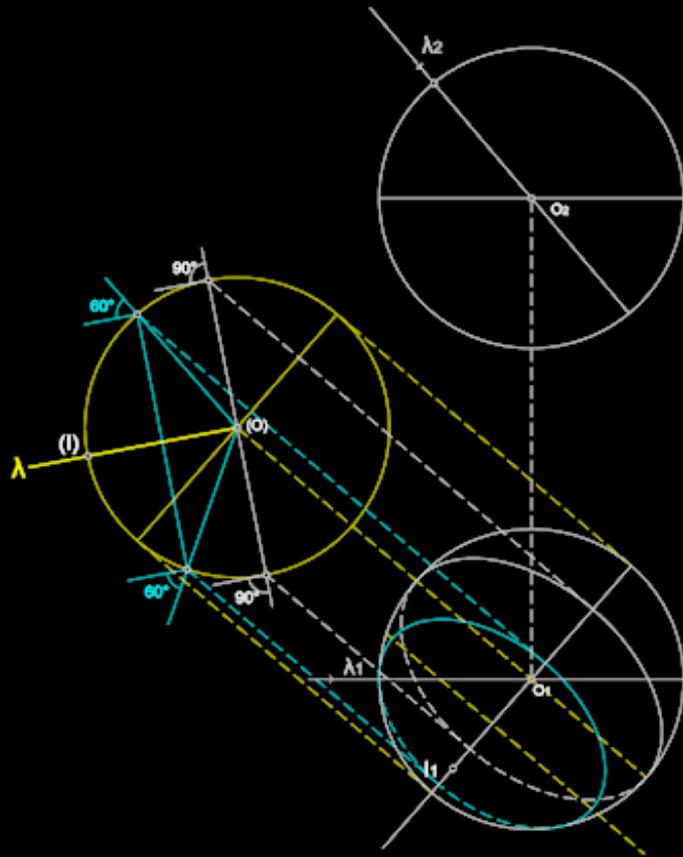
1. Se ha seccionado la esfera según el plano proyectante correspondiente a la proyección  $\lambda_1$  de la dirección de los rayos luminosos. Se trata de un plano vertical que pasa por el centro de la esfera  $O_1$ . Se abate esta sección, que será un círculo máximo de centro  $(O)$ , sobre el plano horizontal (cambio de plano vertical).
2. Se traza por el centro abatido de la esfera  $(O)$  una paralela  $(\lambda)$  a la dirección de los rayos luminosos, obtenida según el esquema de la derecha. Su intersección con la sección abatida de la esfera definirá el punto de máxima intensidad luminosa,  $(I)$ , que desabatido dará la posición  $I_1$  del punto en planta.
3. Se traza la perpendicular por  $(O)$  a  $(\lambda)$ , que definirá la posición del contorno de sombra propia como sección plana de la esfera y se proyecta como un segmento. Su desabatimiento dará su proyección en planta.
4. Si por  $(O)$  se trazan las secciones cónicas que forman ángulos  $\theta$  con la dirección de  $(\lambda)$ , en este caso a  $30^\circ$  y a  $60^\circ$ , se obtendrán los círculos que serán secciones planas de la esfera. Su desabatimiento dará las elipses proyección en planta correspondientes a las líneas isótopas para  $\theta = 30^\circ$  y  $\theta = 60^\circ$ .
5. Para graduar la esfera en alzado se podrá optar por dibujar en la segunda proyección los puntos y líneas obtenidos a partir de la primera proyección o por repetir el mismo proceso mediante un abatimiento respecto al plano vertical de proyección, es decir, un cambio de plano horizontal, como se ha hecho en el dibujo.

Puede observarse que las curvas isótopas y el contorno de sombra propio, obtenidos por separado en las proyecciones primera y segunda, se corresponden mediante las líneas verticales tangentes comunes a ambas proyecciones. En el dibujo de la página anterior, en el que  $\lambda$  era paralelo a  $V$ , se ha señalado en cambio la correspondencia de los centros de dichas curvas, dado que éstas se reducen a segmentos en el alzado.

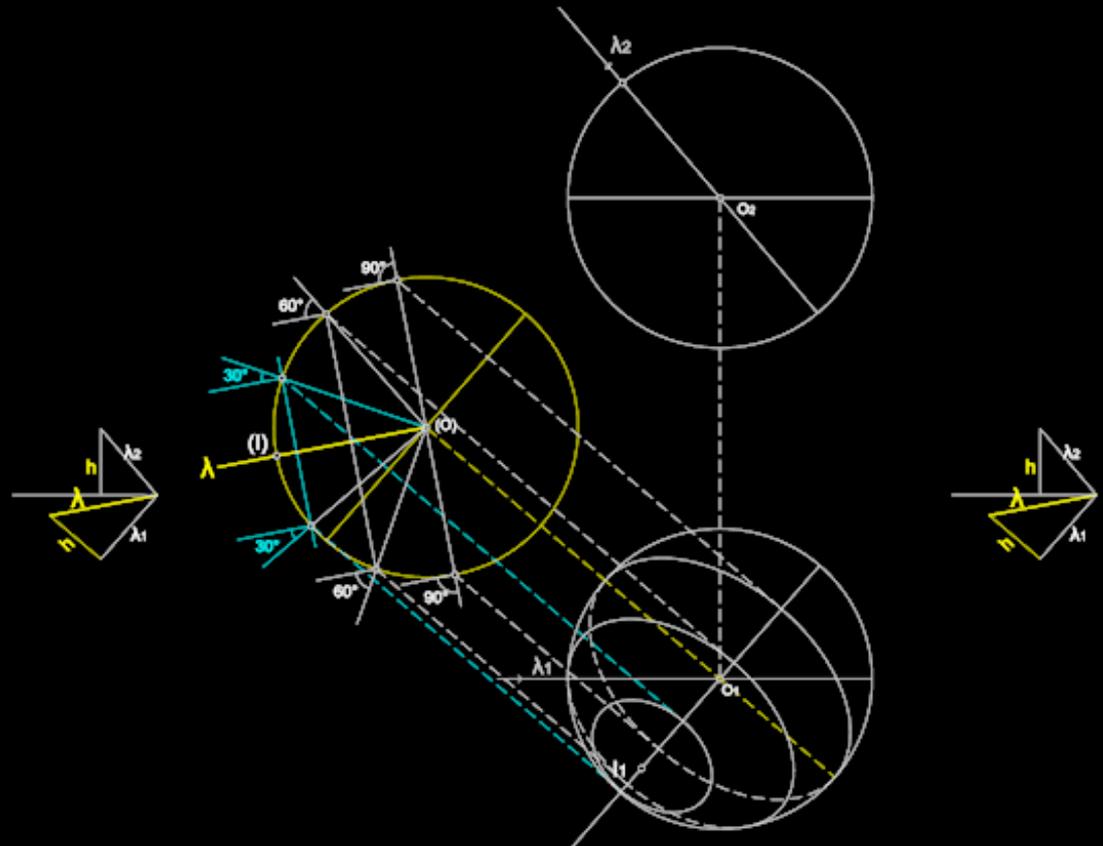




## PASO 3

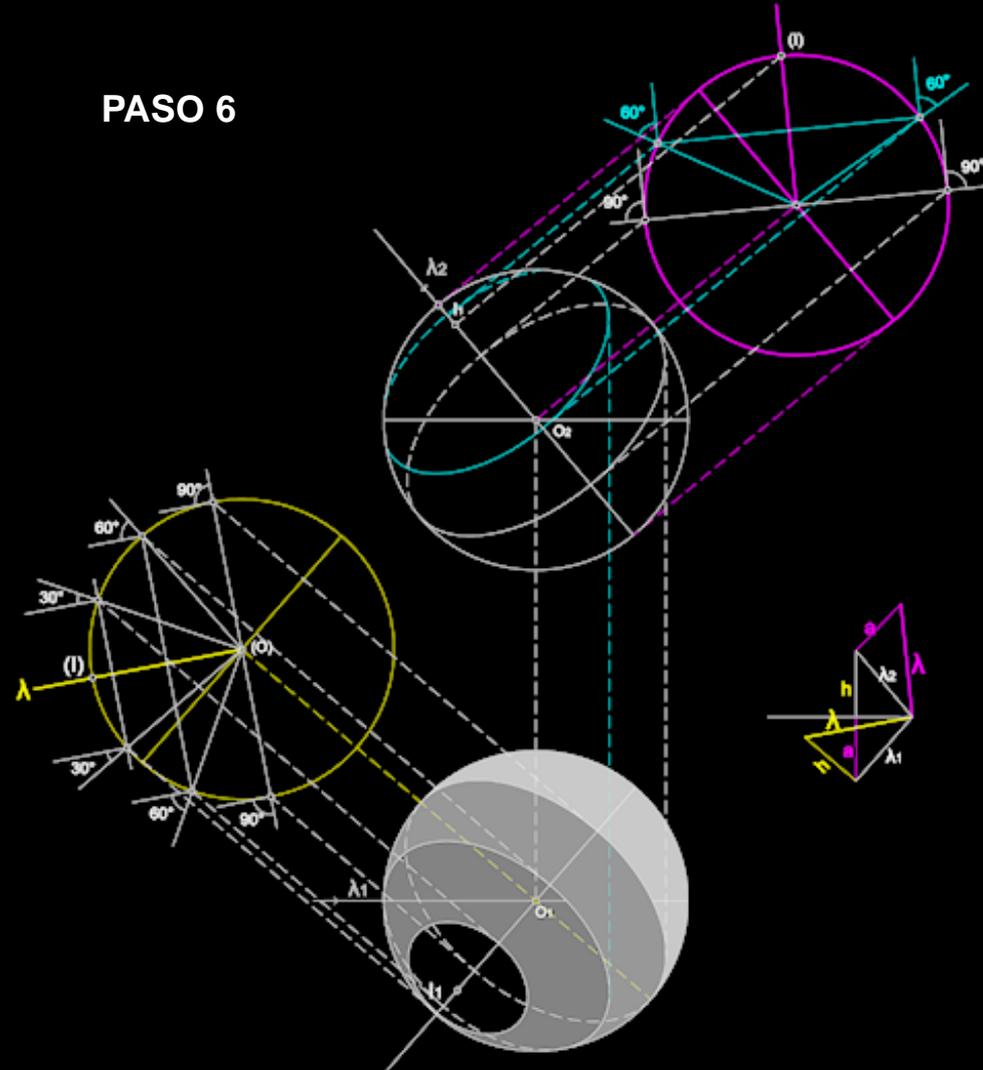


## PASO 4



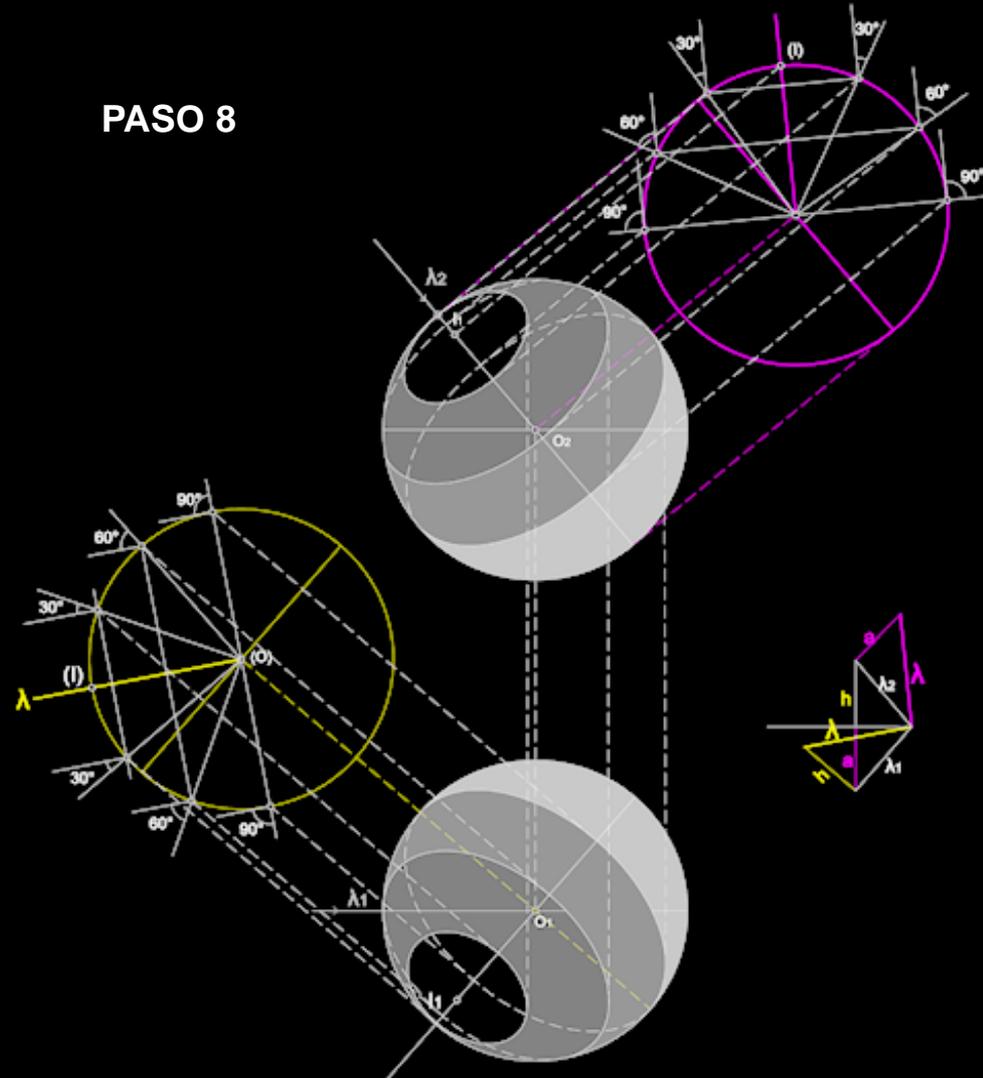
## PASO 5

## PASO 6



## PASO 7

## PASO 8



## 7 GRADUACIÓN DEL CLAROSCURO SOBRE SUPERFICIES DE SIMPLE CURVATURA

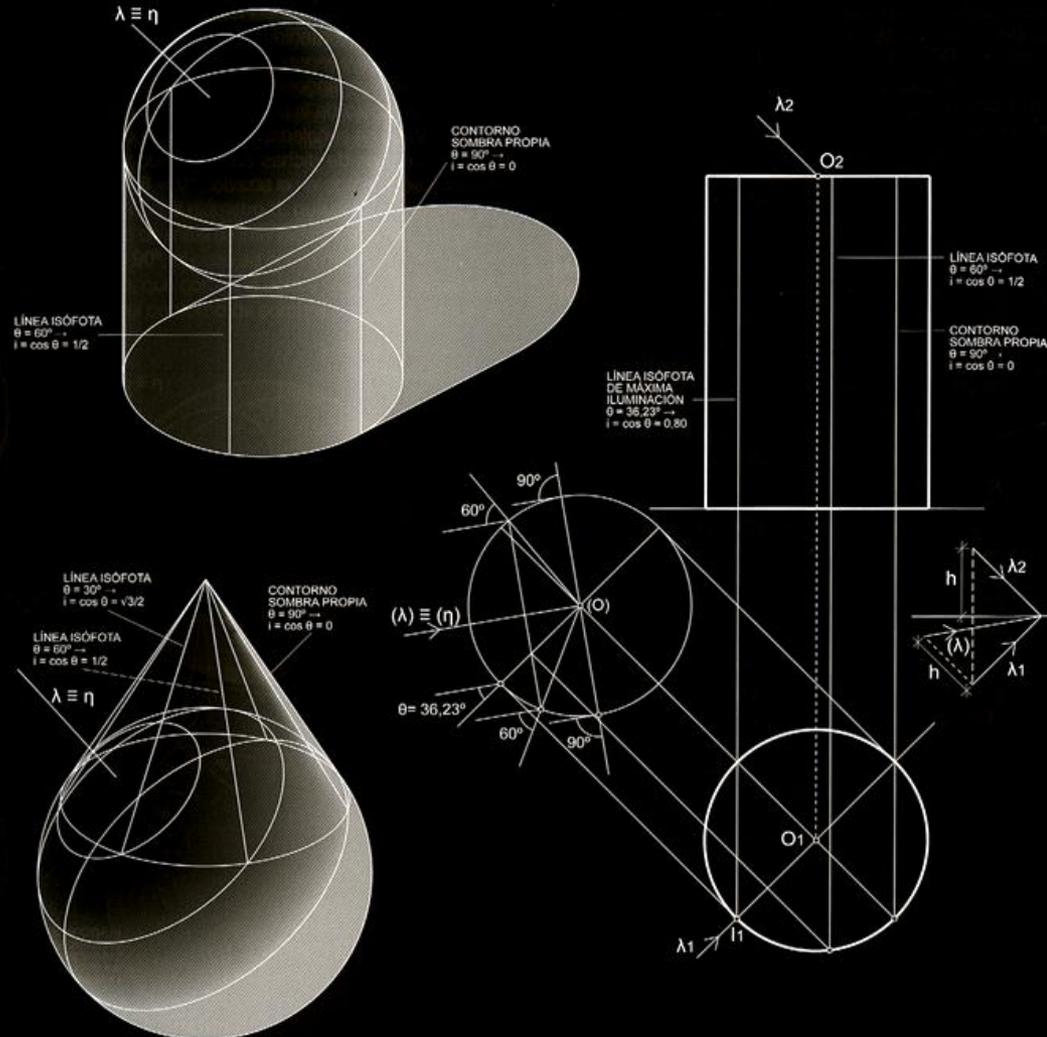
En el caso de una superficie de simple curvatura, como puede ser un cilindro o un cono, las líneas isótopas serán líneas rectas que coincidirán con las generatrices de la correspondiente superficie, al ser un plano tangente en un punto, tangente a toda la superficie a lo largo de la generatriz que pasa por el punto.

Aunque puede resolverse directamente, la mejor manera consiste en inscribir en la superficie de simple curvatura una esfera. En la línea de contacto los planos tangentes lo serán a ambas superficies, por lo que cada punto de la misma será común a las respectivas líneas isótopas, este procedimiento puede generalizarse para cualquier superficie de revolución.

En el caso del cilindro de la figura la axonometría muestra que el punto de máxima iluminación que corresponde a  $\theta = 0^\circ$  no pertenece al cilindro. Tampoco le corresponde la línea isótopa para  $\theta = 30^\circ$ , al no cortar a la línea de contacto entre ambas superficies. Solo la cortan las correspondientes a  $\theta = 60^\circ$  y  $\theta = 90^\circ$ , esta última para el contorno de sombra propia.

El trazado en sistema diédrico se ha realizado análogamente al de la esfera, mediante un plano proyectante correspondiente a la proyección  $\lambda_1$  de la dirección de los rayos luminosos. Se trata de un plano vertical que pasa por el eje del cilindro y que coincide con el centro  $O_1$  de la esfera auxiliar. Se abate esta sección, que será un círculo máximo de centro  $(O)$ , sobre el plano horizontal (cambio de plano vertical). Lógicamente las líneas isótopas solo se verán en alzado, es decir, en segunda proyección. Puede observarse en este abatimiento cómo la última línea isótopa que corresponde al cilindro es para un ángulo, en este caso de  $\theta = 36,23^\circ$  aproximadamente y nos define la línea de máxima iluminación sobre el mismo.

La graduación de sombras sobre el cono en sistema diédrico se resuelve análogamente (no dibujada). En este caso sí se producirá una línea isótopa para  $\theta = 30^\circ$ , como puede verse en la axonometría.



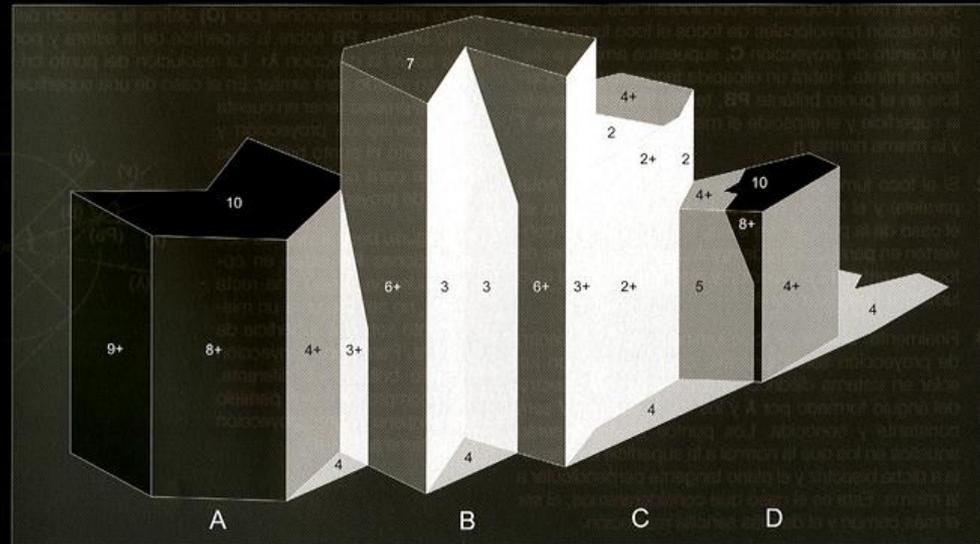
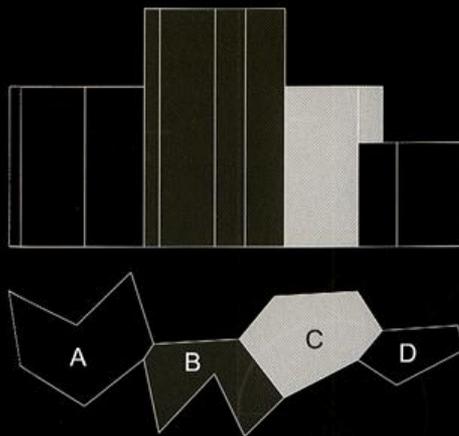
## 8 ESCALA DE TONALIDADES EN % DE CLARIDAD

Se pueden establecer otras escalas de tonalidades que también pueden apoyarse en la graduación tonal de las caras en función del ángulo  $\theta$  que forma la normal  $\eta$  a cada una con la dirección  $\lambda$  de los rayos luminosos. En el ejemplo de la figura se ha supuesto una volumetría elemental compuesta por cuatro bloques escalonados. Los bloques **A** y **D** corresponderían con el 100% de blanco (papel), el **B** con el 80% y el **C** con el 40%. En consecuencia se verán en diferentes tonos de gris, pero siempre el tono más oscuro de cada bloque será en principio más claro que el más claro del bloque inmediatamente más oscuro. En todo caso la cara superior de cada bloque será la más clara del mismo, al corresponderle un ángulo  $\theta$  menor. Aunque los valores originales de claridad se han obtenido en %, se han indicado en una escala tonal que varía entre el 1 (10%) y el 10 (100%) de claridad, con valores intermedios (+), siendo 1 el negro y el 10 el blanco del papel.

En cuanto a la sombra que cada bloque arroja sobre el siguiente, puede observarse que si el bloque es claro, como el **A**, la sombra arrojada sobre otro más oscuro como el **B**, es más oscura que la sombra propia de la cara correspondiente. Al contrario, la sombra arrojada por el bloque más oscuro, el **C**, sobre uno de los dos más claros, el **D**, es más clara que la sombra propia correspondiente. En el caso intermedio del bloque **B**, su sombra autoarrojada es de intensidad similar a la de la cara que la arroja. Si observamos ahora las sombras arrojadas sobre el suelo, veremos que la que corresponde al bloque **A** es más oscura que la de la cara en sombra propia que la arroja. Pero con el bloque **C** ocurre lo contrario y el bloque **B** podría considerarse un caso intermedio. También podemos observar que la sombra que arroja el bloque **B** sobre el **D** es más clara que la que arroja sobre el suelo, al contrario que el bloque **A** en relación con el **B**.

Por otro lado, también influye el color del suelo: no será lo mismo e influirá de diferente manera un suelo asfaltado que uno de arena o de hierba. Si el color del suelo fuese más oscuro que el del objeto, la sombra arrojada sería más oscura que la propia.

Por otro lado, por el efecto de la interacción del color, la sombra arrojada por el bloque **B** sobre el **D** (valor 5) parece más clara que las caras iluminadas del bloque **B** (valor 6+), cuando en realidad es al contrario. El ejemplo que se ha mostrado no puede considerarse coincidente con la realidad, solo es una aproximación orientativa (véase la bibliografía). En todo caso, la mejor forma de definir los valores tonales en una representación es la observación continuada de la realidad. Como dijo Le Corbusier, "La arquitectura es el juego sabio, correcto y magnífico de los volúmenes reunidos bajo la luz".



## 9 PUNTOS, LÍNEAS Y ZONAS BRILLANTES

Como se ha señalado al principio del capítulo, Gaspar Monge ya habló de los **puntos brillantes** sobre una superficie. Según su definición, son los que reflejan el rayo luminoso hacia el observador, dependiendo su efecto de la forma y textura de la superficie. Están determinados por la condición de que el rayo luminoso incidente y el reflejado que se dirige hacia el espectador, deben encontrarse en un mismo plano perpendicular al plano tangente en dichos puntos a la superficie y formar el mismo ángulo con el plano tangente.

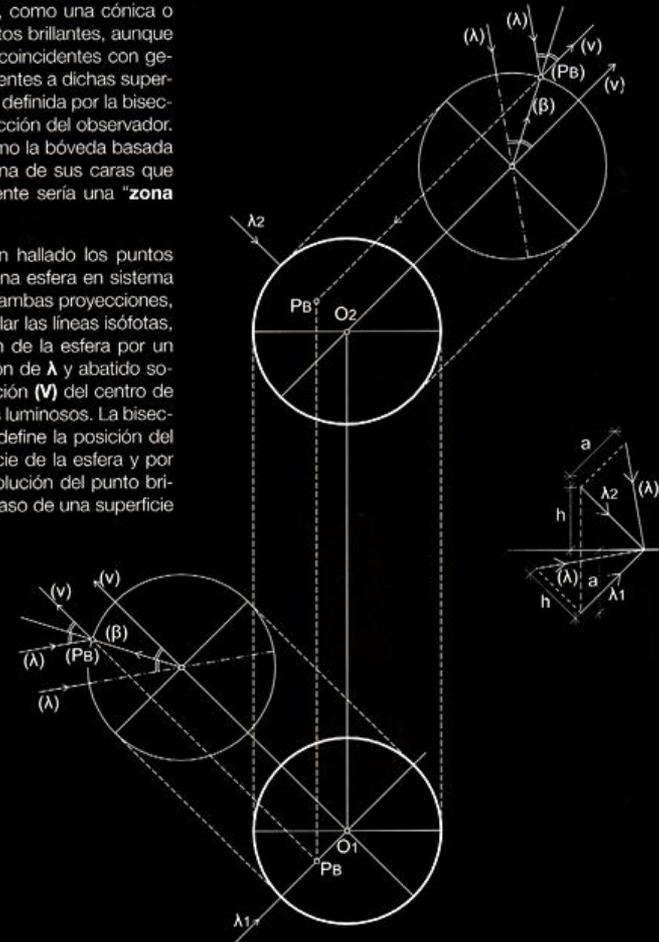
La resolución práctica del problema se debe a Jean Pierre Nicolas **Hachette** (1769-1834), discípulo y colaborador de Monge. Aunque no se entrará en la resolución del problema, se exponen a continuación los principios teóricos correspondientes. Los principales casos serían los siguientes:

1. En el caso de que el foco luminoso y el centro de proyección sean propios, se consideran dos elipsoides de rotación homofocales de focos el foco luminoso **F** y el centro de proyección **C**, supuestos ambos a distancia infinita. Habrá un elipsoide tangente a la superficie en el punto brillante **PB**, teniendo en este punto la superficie y el elipsoide el mismo plano tangente **T** y la misma normal  $\eta$ .
2. Si el foco luminoso se considera impropio (luz solar paralela) y el centro de proyección propio, como es el caso de la perspectiva lineal, los elipsoides se convierten en paraboloides de revolución homofocales de foco el centro de proyección y eje una paralela al rayo luminoso que pasa por él.
3. Finalmente, si tanto el foco luminoso como el centro de proyección son impropios, como ocurre con luz solar en sistema diédrico, la dirección de la bisectriz del ángulo formado por  $\lambda$  y los rayos visuales **V** será constante y conocida. Los puntos brillantes serán aquellos en los que la normal a la superficie es paralela a dicha bisectriz y el plano tangente perpendicular a la misma. Este es el caso que consideraremos, al ser el más común y el de más sencilla resolución.

Una superficie de simple curvatura, como una cónica o cilíndrica, no tendrá en general puntos brillantes, aunque sí podría tener "**líneas brillantes**" coincidentes con generatrices, si existiesen planos tangentes a dichas superficies perpendiculares a la dirección definida por la bisectriz de los rayos luminosos y la dirección del observador. Si la superficie fuese poliédrica, como la bóveda basada en el poliedro semirregular **A IX**, una de sus caras que fuese paralela a dicho plano tangente sería una "**zona brillante**" a manera de un espejo.

En la figura de esta página se han hallado los puntos brillantes en planta y alzado para una esfera en sistema diédrico. El trazado, el mismo para ambas proyecciones, es el que ya se ha utilizado para hallar las líneas isótopas, es decir, se ha realizado la sección de la esfera por un plano proyectante según la dirección de  $\lambda$  y abatido sobre el plano horizontal con la dirección (**V**) del centro de proyección y la ( $\lambda$ ) de la de los rayos luminosos. La bisectriz de ambas direcciones por (**O**) define la posición del punto brillante **PB** sobre la superficie de la esfera y por tanto sobre la dirección  $\lambda_1$ . La resolución del punto brillante en alzado será similar. En el caso de una superficie curva es preciso tener en cuenta que el centro de proyección y por lo tanto el punto brillante es diferente para cada uno de los planos de proyección.

En la figura, pese a que las dos proyecciones **PB** están en correspondencia según una recta vertical, no se refieren a un mismo punto sobre la superficie de la esfera. Para cada proyección el punto brillante es diferente. Basta comprobar que el paralelo que contiene a una proyección no contiene a la otra.



## imágenes extraídas de libros, apuntes y publicaciones web

Silla Super Foam Chair (diapositiva 1)

<http://cubeme.com/superfoam-seating-by-rich-gilbert/>

Imágenes de diapositivas 2 a 8, 12 y 17 a 19, extraídas del libro **GEOMETRÍA DESCRIPTIVA PARA LA REPRESENTACIÓN ARQUITECTÓNICA. GEOMETRÍA DE LA FORMA ARQUITECTÓNICA, Volumen 2**, del catedrático de la UDC José Antonio Franco Taboada editado por Andavira.

Estudio y desarrollo realizado por el profesor Pablo Costa Buján, en diapositivas 9 a 11 y 13 a 16, a partir de la publicación anteriormente citada del catedrático de la UDC José Antonio Franco Taboada.