

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica



**Diseño de Iluminación en grandes
Areas por Microcomputadora con
Aplicación a la planta Villa de
Enatru Peru S. A.**

T E S I S

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO – ELECTRICISTA**

Victor Ernesto Hidalgo Tupia

PROMOCION 89-I

LIMA – PERU

1992

CONTENIDO DE TESIS

Dedicatoria	1
Contenido de Tesis	11
Prólogo	1
1.0 INTRODUCCION	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivo	4
1.3 Método de trabajo	5
1.4 Alcances y limitaciones	6
2.0 MARCO TEORICO DE DISEÑO	9
2.1 Definición de términos	9
2.1.1 Flujo luminoso (Φ)	9
2.1.2 Intensidad luminosa (I)	12
2.1.3 Iluminancia (E)	14
2.1.4 Luminancia (L)	14
2.1.5 Relaciones y leyes fundamentales de la iluminación	15
2.2 Iluminación de interiores	18
2.2.1 Curvas fotométricas	18
2.2.2 Objetivos de la iluminación de interiores	19
2.2.3 Cálculo de interiores	20
2.3 Iluminación de grandes áreas	22

2.3.1 Distribución luminosa de un proyector	23
2.3.2 Sistema de coordenadas B-BETA	24
2.3.3 Luminancia en grandes áreas	26
2.4 Iluminación perimétrica	34
2.4.1 Luminancia de velo	35
3.0 PROCEDIMIENTOS DE CALCULO	38
3.1 Determinación de la intensidad luminosa	38
3.1.1 Determinación de los ángulos B-BETA	41
3.1.2 Determinación del nivel de iluminancia	44
3.1.3 Determinación de la tabla de intensidad luminosa	45
3.2 Secuencia de cálculo de parámetros	54
3.2.1 Determinación de los puntos para el cálculo	54
3.2.2 Coordenadas referidas al observador	58
3.2.3 Determinación de la luminancia	59
3.2.4 Determinación de la luminancia en el ojo del observador	60
3.2.5 Secuencia de cálculo en el programa	62
3.3 Algoritmo	63
3.4 Explicación de las variables del programa	66
3.5 Desarrollo del programa	70
4.0 DISEÑO DE ILUMINACION DEL PATIO DE MANIOBRAS DE LA PLANTA	73
4.1 Descripción de la planta	73
4.2 Definición de las áreas a iluminar	76
4.3 Determinación del nivel de iluminancia	76
4.4 Cálculos	79

4.5 Selección de equipos	81
5.0 DISEÑO DE LA ILUMINACION PERIMETRICA	84
5.1 Definición del tipo de iluminación	84
5.2 Determinación de los parámetros de iluminación	85
5.3 Cálculos	85
5.4 Selección de equipos	89
6.0 PROYECTO DE ILUMINACION DEL PATIO DE LA PLANTA	91
6.1 Diseño de redes, protección y mando	91
6.2 Memoria descriptiva	92
6.2.1 Generalidades	92
6.2.2 Alcances	93
6.2.3 Descripción del proyecto	93
6.2.4 Alcance del contratista de obras eléctricas	97
6.3 Especificaciones técnicas de materiales	97
6.3.1 Cables eléctricos	97
6.3.2 Cruzadas	98
6.3.3 Unidades de alumbrado	98
6.3.4 Zanjas	102
6.3.5 Empalmes	103
6.3.6 Tableros de control	104
6.3.7 Interruptores	105
6.4 Especificaciones técnicas de montaje	105
6.4.1 Alimentadores eléctricos	105
6.4.2 Ductos de concreto	106
6.4.3 Postes	106
6.4.4 Plataforma de montaje y accesorios	106
6.4.5 Reflectores y equipos de encendido	107

6.4.6 Tableros	107
6.4.7 Sistemas de tierra	107
6.5 Costos	108
OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES	109
Apéndice	111
Planos	170
Bibliografía	174

PROLOGO

Este trabajo cuenta con seis capítulos los cuales siguen una secuencia en cuanto a la densidad de contenido que va desde la introducción al problema o asunto tratado, la iluminación de grandes áreas, hasta la aplicación a un caso particular de la solución presentada al mismo.

El primer capítulo es una introducción al tema de la tesis, consigna las bases del mismo en función a lo ya realizado en el ramo, cuenta también con la precisión de los objetivos que se espera lograr, la forma genérica en que se han ido tratando las diferentes partes de la elaboración del programa en microcomputadora sujeto de análisis y lo que se puede esperar del mismo, así como, una relación de lo que el programa, tal como se presenta, no esta en condiciones de ofrecer.

El segundo capítulo presenta la estructura o base teórica sobre la cual se efectúa el análisis de la iluminación en grandes áreas. Este capítulo trata también en alguna medida de centrar y ubicar el tema de este tipo de iluminación dentro del contexto de lo que es la ingeniería de la iluminación.

El capítulo tercero presenta, por así decirlo, el enfoque de aplicación central, con el cual toda la ejecución del programa toma sentido, en el se explican todas las formas de cálculo que en el capítulo anterior solamente tuvieron un sentido meramente literal. En él se muestra el programa en sí y su algoritmo.

Cabe resaltar que este capítulo se complementa con el anterior y es preciso entender este último para comprender el siguiente.

Los capítulos cuarto y quinto son una aplicación del programa efectuado y que considera el caso de la iluminación de áreas que necesiten para su especificación de cálculos ya sea simplemente de nivel de iluminancia o de cálculo de luminancias con la evaluación del grado de control de deslumbramiento.

El último capítulo es el proyecto de instalación de iluminación de la Planta Villa de Enatru Perú S.A. y consta del diseño de las redes eléctricas de los alimentadores de la protección del sistema de control, consta también de Memoria Descriptiva, Especificaciones Técnicas y Presupuesto de la misma.

Quiero expresar mi agradecimiento especial al ingeniero José Aguirre Rodríguez y al ingeniero Edgar Claudio Salcedo por el apoyo que me han brindado para la realización de este trabajo.

1.0 INTRODUCCION

El campo de la iluminación, tan amplio como las necesidad humana de la luz, tiene entre sus partes más representativas el manejo y control de esta forma de energía en lo que respecta a la iluminación de áreas grandes; y dentro de este campo la utilización de reflectores, fuentes luminosas de gran potencia lumínica.

Es en este marco que se presenta el trabajo realizado en esta tesis el cual consiste en la ejecución y aplicación de un programa en microcomputadora para los cálculos de ingeniería de la iluminación de áreas grandes.

1.1 Antecedentes

Los antecedentes de la presente obra son los programas de iluminación que tiene la PHILIPS y que cubren no solo el ámbito de la iluminación de grandes áreas sino que también el cálculo de alumbrado de vías , etc. teniendo inclusive un programa para la iluminación de interiores. Este programa, como es lógico suponer, viene ligado estrechamente a los productos que esta firma produce y si el acceso al programa en sí es difícil lo es mucho más para la aplicación del mismo a otros productos diferentes a los producidos por la mencionada firma.

Existe también una tesis de grado en esta misma Casa de Estudios perteneciente al ingeniero Cipriano Guillén Y. el cual desarrolló un programa de iluminación de áreas grandes que lo aplicó para la iluminación de vías, esto es para el alumbrado público. Este programa fue realizado utilizando un sistema IBM de computación y lenguaje FORTRAN. Además, en cuanto al cálculo de la luminancia existe una diferencia en cuanto al tipo de tablas utilizadas ambas válidas para el caso.

1.2 Objetivo

Los objetivos que se espera alcanzar con el siguiente trabajo son los siguientes:

- a) Elaborar un programa de computación en microcomputadora para el cálculo de iluminación de grandes áreas con el fin de hacer más asequible este tipo de diseños al proyectista no especializado.
- b) Crear un programa que realice los cálculos de iluminación en áreas grandes sin depender exclusivamente de un solo tipo de fabricantes sino que permita aplicar el programa a diferentes tipos de reflectores.
- c) Mostrar al estudiante de ingeniería de la iluminación el campo de la iluminación por proyectores e incentivarlo en el estudio de este campo.
- d) Preparar las bases para un desarrollo de un

software diseñado y realizado en el país para el cálculo de iluminación a nivel de la ingeniería aplicada a la iluminación.

- e) Promover entre los fabricantes de luminarias nacionales el uso de las tablas y diagramas características de los equipos que producen con el fin de tener competitividad en cuanto a la calidad de sus equipos.

1.3 Método de trabajo

Para la realización de la presente se procedió a evaluar y determinar los datos de entrada del programa, los cálculos a efectuarse por el programa en sí y la salida o presentación de los resultados para la interpretación de los mismos.

Los datos de entrada implican las características de la instalación, esto es, las dimensiones del área a iluminar, las características de las unidades destinadas a la iluminación de la misma tales como, tipo de reflectores, cantidad de postes, cantidad de reflectores por poste, altura de montaje de los reflectores y direccionamiento de los haces de los mismos; también debe considerarse, si es necesario, las características de la calzada, esto en cuanto a los cálculos de luminancia. Finalmente podemos decir que es necesario especificar la precisión de los cálculos mediante la cantidad de puntos del área a iluminar que serán sujetos a cálculo.

Para la determinación de los parámetros de los reflectores se partió de las curvas isocandela de los mismos y se procesaron los datos según la parte teórica desarrollada en el capítulo 2 y en según los métodos de cálculo mostrados en el capítulo 3. Este proceso se llevó a cabo utilizando LOTUS 123. Una vez determinados estos parámetros se cargaron los mismos al programa en sí para la ejecución.

Para las características de la superficie a iluminar también se procedió tomando en cuenta las curvas iso cd/m^2 para intensidad luminosa constante y cargando luego en el programa para la ejecución.

El programa en sí ha sido realizado en GWBASIC para una mejor comprensión por parte de los usuarios del mismo, es decir, por fines didácticos. La principal desventaja para la ejecución o corrida del programa es la velocidad del mismo ya que siendo el GWBASIC un programa intérprete, no existe un proceso previo de compilación del programa, siendo necesario "compilar" cada línea al momento en que se requiere generándose un lapso de tiempo relativamente largo para la ejecución.

1.4 Alcances y limitaciones

El programa según lo determinado se ha realizado para aplicarse en el cálculo de iluminación por reflectores y para áreas de geometría diversa. El programa puede ser cargado con características de reflectores y de superficies a iluminar de cualquier índole.

La limitación más importante reside en la capacidad de la máquina en la que se ejecuta el programa y no en el programa en sí, esto en cuanto a la cantidad de puntos en el área a iluminar sujetos a cálculo.

Este programa no debe usarse para:

- Iluminación de Interiores.
- Iluminación de vías mediante luminarias de alumbrado público (esencialmente por las coordenadas en que se presentan las curvas isocandela en este tipo de luminarias).
- Cálculos de iluminancia vertical.
- Cálculos de iluminación utilizando para una misma instalación reflectores de diferentes tipos (alternativa: aplicar para el área cálculos separados por cada tipo de reflector y luego efectuar superposición).

NOTA EXPLICATIVA

El formato para la realización de los planos que he considerado tiene dimensiones que permiten mostrar los aspectos mecánicos o de construcción de las plataformas de montaje y los aspectos eléctricos o de instalaciones de los equipos eléctricos y de los cálculos de iluminación. Es por este motivo que con la aprobación respectiva del profesor asesor he utilizado un formato diferente al de las normas ITINTEC que se requieren para los planos.

Esperando la comprensión de los lectores, les presento los planos a continuación.

2.0 MARCO TEORICO DE DISEÑO

Este capítulo contiene toda la parte teórica que sustenta todo el trabajo que se realiza en el programa y cubre principalmente la iluminación en grandes áreas que motiva el presente trabajo.

En lo que respecta a la parte de definición de términos se han considerado los términos más generales de la teoría y es la que está más difundida a través de los textos y manuales de consulta en el campo.

2.1 Definición de términos

Los parámetros que se definen a continuación son los que se requieren para el dominio del programa desarrollado y los que se relacionan con la comprensión del mismo sin estar explícitamente mencionados en él. Esto implica también las leyes fundamentales de la iluminación.

2.1.1 Flujo luminoso (Φ)

La energía luminosa se obtiene por la transformación de otra clase de energía, la luz es una forma de energía radiante en movimiento y a la variación de ésta en el tiempo se le denomina flujo luminoso. Como vemos el flujo luminoso tiene unidades de potencia y como la energía emitida no cambia en el tiempo, el flujo luminoso se concibe como una cantidad definida.

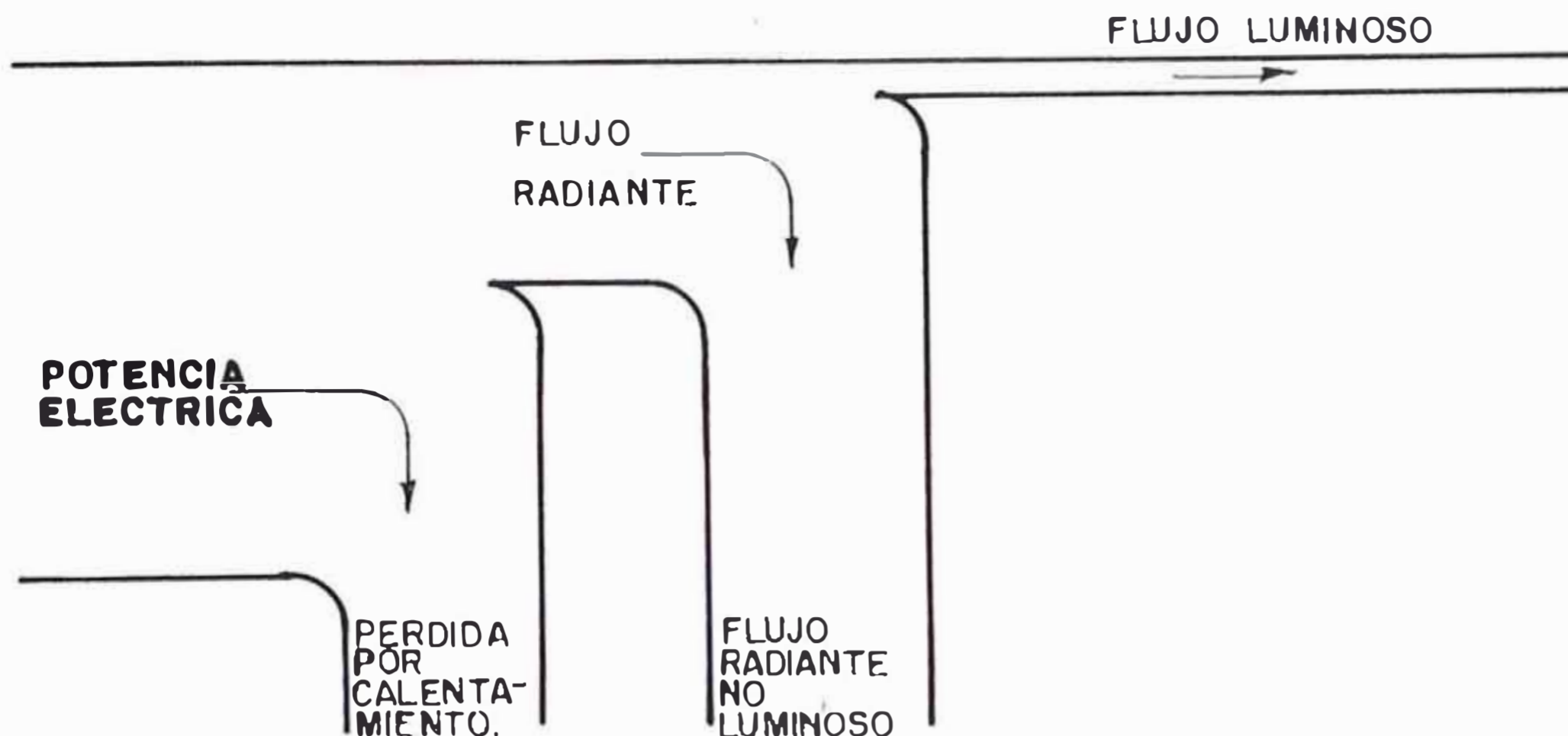


Fig. 1 Esquema de distribución energética

Para una mejor comprensión de lo que es el flujo luminoso diremos que, por ejemplo, la luz emitida por una vela es el resultado de una reacción química en la que la fuente de energía se produce por la combustión del material de la misma, al igual que la energía luminosa de una lámpara incandescente es consecuencia de la energía eléctrica de la lámpara. No toda la energía original se transforma en energía luminosa, parte de ésta se convierte en energía calorífica y otra parte en energía radiante, una pequeña parte de esta energía radiante cuya longitud de onda se encuentre comprendida entre 350 y 760 μ provocan la sensación de luz en el ojo humano.

La potencia o flujo radiante es la energía radiante por unidad de tiempo y flujo luminoso es la parte del flujo radiante que produce sensación luminosa en el ojo

humano.

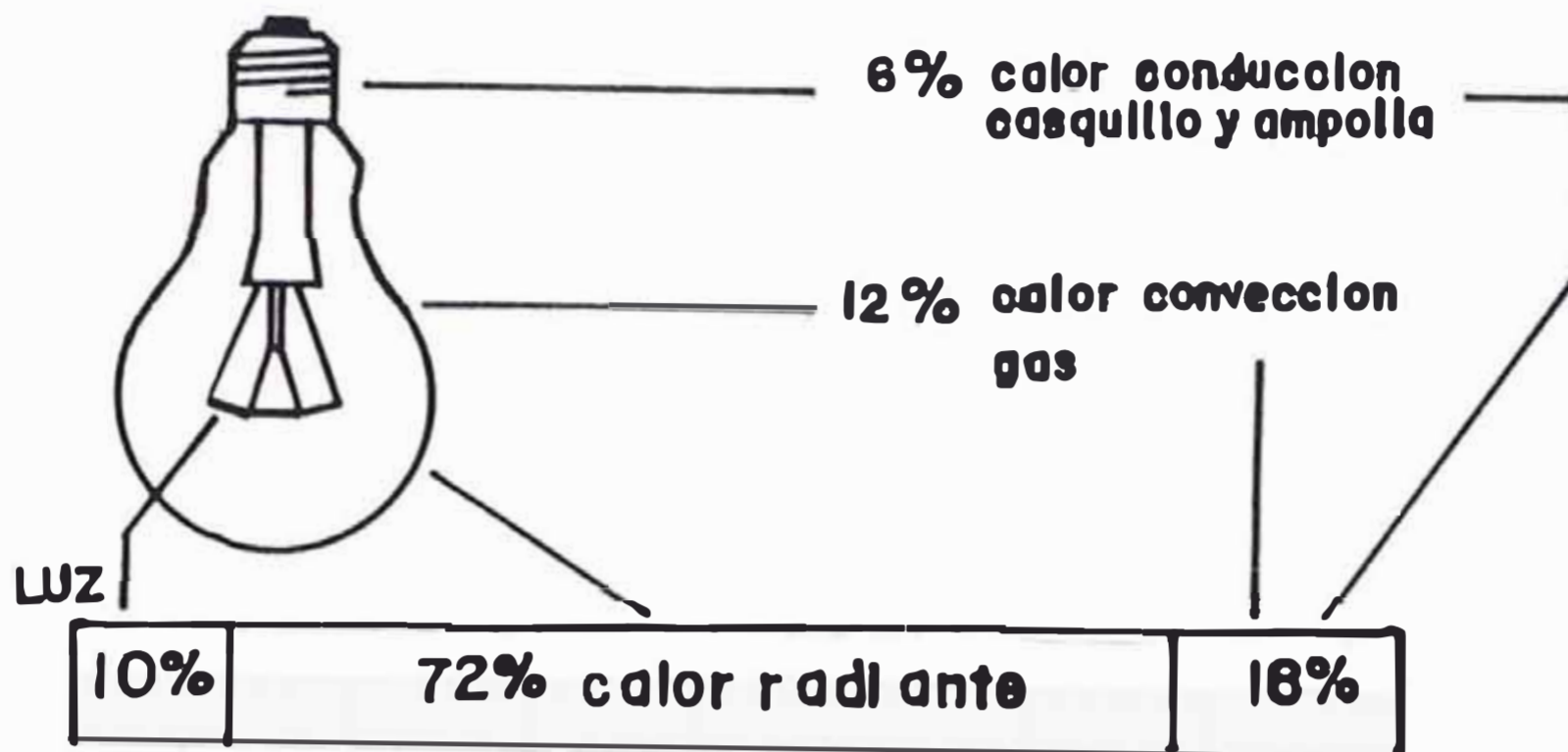


Fig. 2 Esquema de distribución del flujo energético de una lámpara.

De aquí vemos que el flujo luminoso, es la medida de la potencia luminosa : energía luminosa por unidad de tiempo al igual que la potencia eléctrica es la energía eléctrica producida en una unidad de tiempo, esto se utiliza para evaluar el rendimiento de una fuente luminosa.

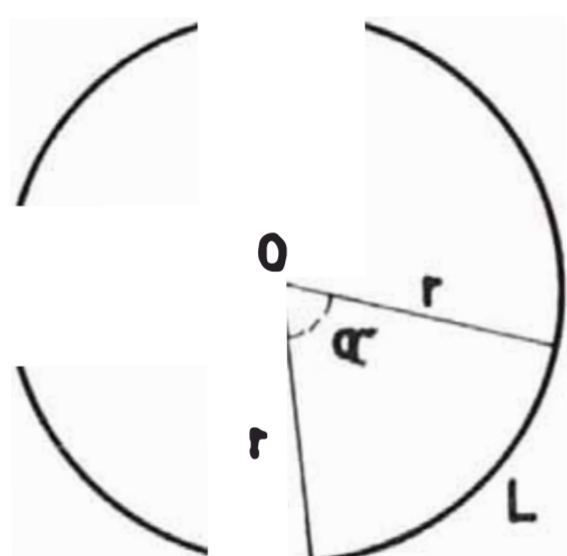
Para una fuente luminosa especificada, el flujo luminoso que esta emite no es uniforme en todas las direcciones sino que dependen de la lámpara y de la luminaria que direcciona el haz emitido.

La unidad de flujo luminoso es el lumen y se define como el flujo luminoso de la radiación monocromática que se caracteriza por una longitud de onda de 555 nm cuyo flujo de energía radiante es de 1/683 vatios.

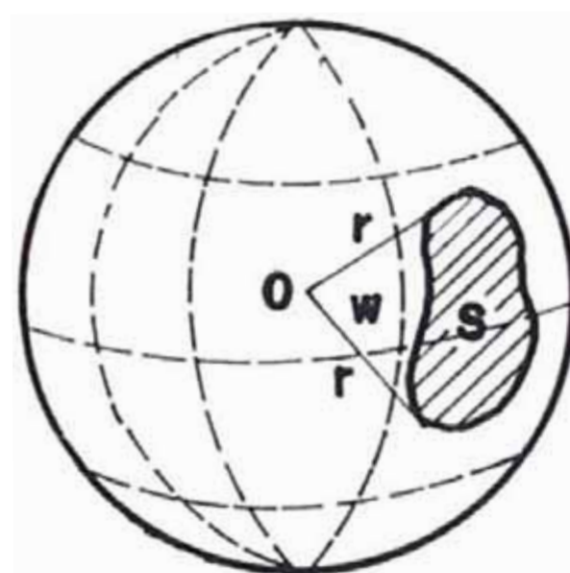
2.1.2 Intensidad luminosa (I)

La intensidad luminosa es la densidad de flujo luminoso a través de un ángulo sólido en una dirección determinada.

Al igual que a la longitud de arco de circunferencia (L) le corresponde un ángulo plano (α), el cual es medido desde el centro (O) de la circunferencia, así también al área (S) de una superficie esférica le corresponde un ángulo sólido (w) desde el centro de la esfera hasta el contorno de la superficie S.



Si $\alpha = 1 \text{ rad}$
 $L = r$



Si $S = r^2$
 $w = 1 \text{ estereoradian}$

Fig.3 Angulos plano y sólido

Siendo ϕ el flujo emitido por una fuente luminosa puntual y w el ángulo sólido en que éste se difunde la intensidad luminosa se define como el siguiente cociente,

$$I = \phi / w$$

Si llevamos al límite la magnitud de la intensidad luminosa se obtiene,

$$I = d\phi / d\omega$$

lo que significa que la intensidad luminosa en un punto es el cociente entre el diferencial de flujo que se emite a través de un pequeño diferencial de ángulo sólido que contiene al punto analizado.

$$I = \frac{d\phi}{d\omega}$$

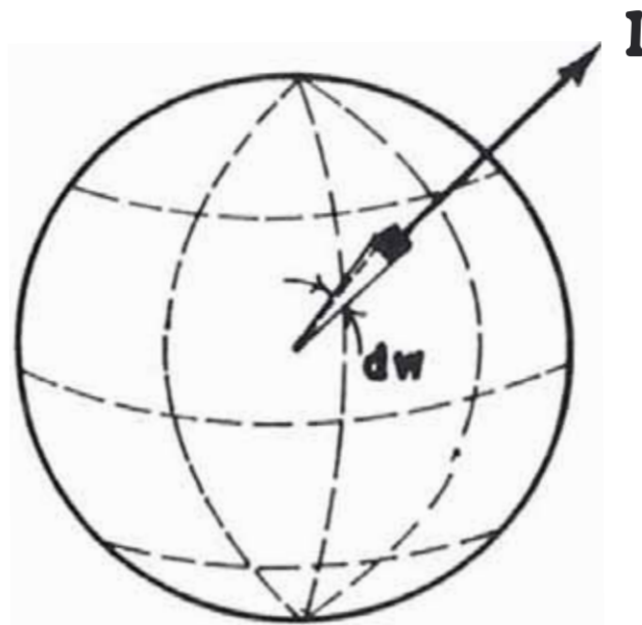


Fig. 4 Vector intensidad luminosa

El valor de I es variable con la dirección que se tome a partir de la fuente de luz.

La unidad de intensidad luminosa es la candela (cd) y se define como la intensidad luminosa de una fuente

$$\begin{aligned} \omega &= 1 \text{ sr} \\ I &= 1 \text{ cd} \\ \phi &= 1 \text{ lum} \end{aligned}$$

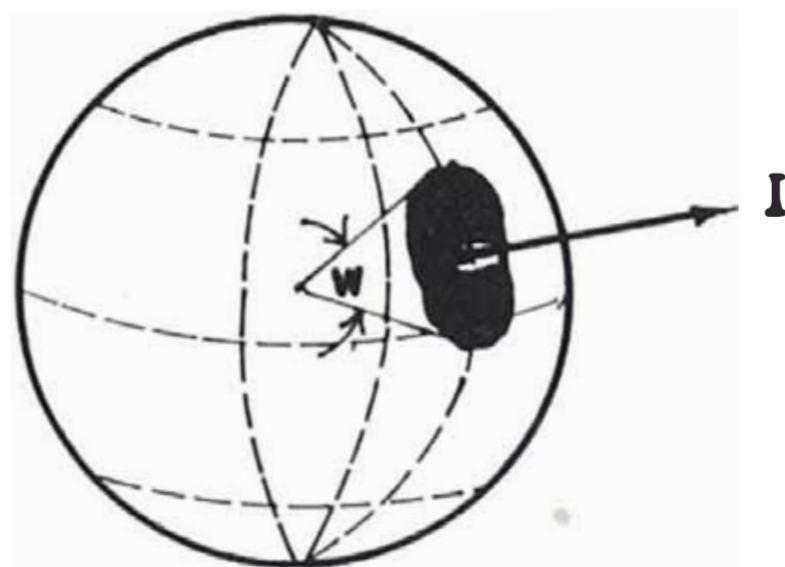


Fig. 5 El lumen

puntual que emite un lumen a través de un ángulo sólido de un estereoradián.

$$\text{Candela} = \text{Lumen} / \text{Estereoradián}$$

2.1.3 Iluminancia (E)

La iluminancia o iluminación de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie en su extensión.

$$E = d\phi / dS$$

La unidad de iluminación es el lux el cual se define como la iluminación que recibe una superficie de un metro cuadrado cuando el flujo luminoso es de un lumen.

$$\text{Lux} = \text{Lumen} / \text{m}^2$$

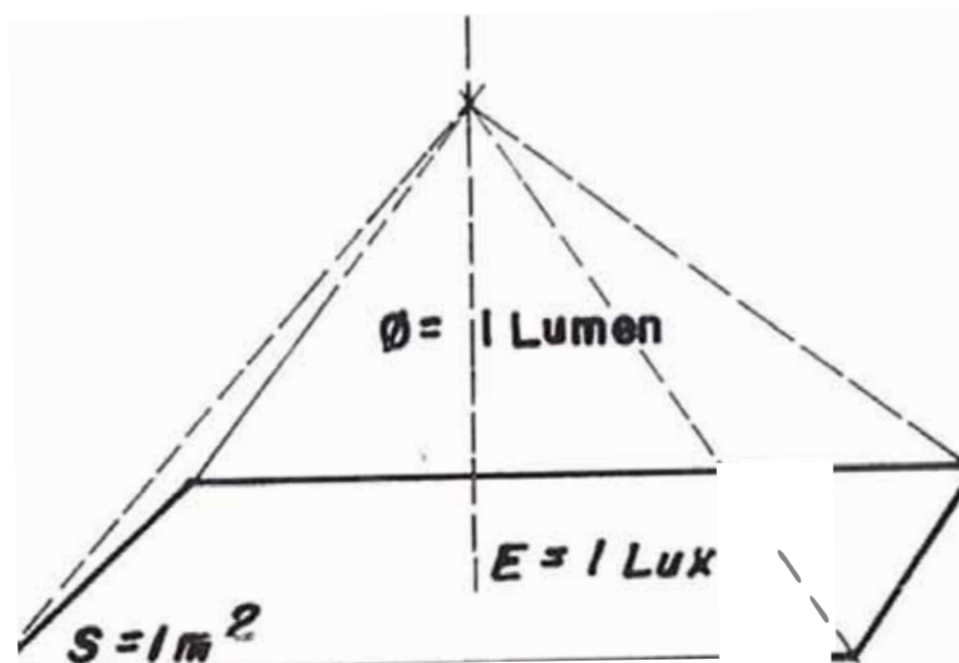


Fig.6 El Lux

La iluminación es un dato muy importante para el diseño de iluminación en cualquier tipo de ambientes.

2.1.4 Luminancia (L)

La luminancia de una superficie en una dirección determinada es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la superficie aparente (vista por el observador situado en la misma dirección).

La fórmula que expresa la luminancia es,

$$L = I / S \cos \alpha$$

Cuando la luminancia se refiere a los manantiales luminosos se dice que es luminancia directa, si se refiere en cambio a los objetos iluminados es luminancia indirecta.

2.1.5 Relaciones y leyes fundamentales de la iluminación

Ley fundamental de la iluminación

Sabemos que la intensidad luminosa de un manantial luminoso viene definida por,

$$I = d\phi / d\omega$$

donde:

$d\phi$:diferencial de flujo emitido

$d\omega$:diferencial de ángulo sólido por el cual se emite $d\phi$.

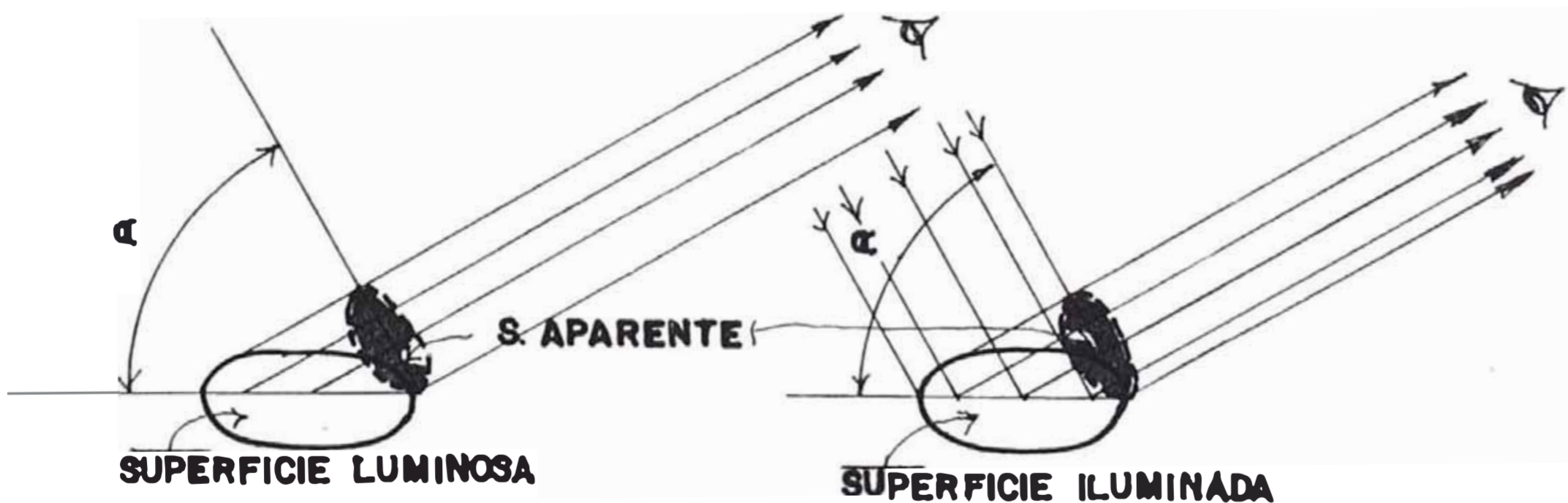


Fig. 7 Luminancia directa e indirecta

Por otro lado recordamos que la iluminación viene definida por :

$$E = d\phi / dS$$

donde:

$d\phi$:diferencial de flujo emitido

dS :diferencial de área que recibe el flujo $d\phi$ y que comprende al ángulo sólido dw

Dado que dS es una superficie situada perpendicularmente al radio "d" de la esfera y estando definido su contorno por dw podemos definir la siguiente expresión.

$$dS = d^2(dw)$$

Regresando a la expresión de la iluminación se tiene,

$$E = d\phi / dS$$

$$E = I \cdot dw / dS \quad (d\phi = I \cdot dw)$$

$$E = I \cdot dS / d^2 \cdot dS \quad (dS = d^2 \cdot dw)$$

obteniéndose finalmente,

$$E = I / d^2$$

Esto quiere decir que "la iluminación de una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación luminosa es directamente proporcional a la intensidad luminosa del manantial luminoso e inversamente

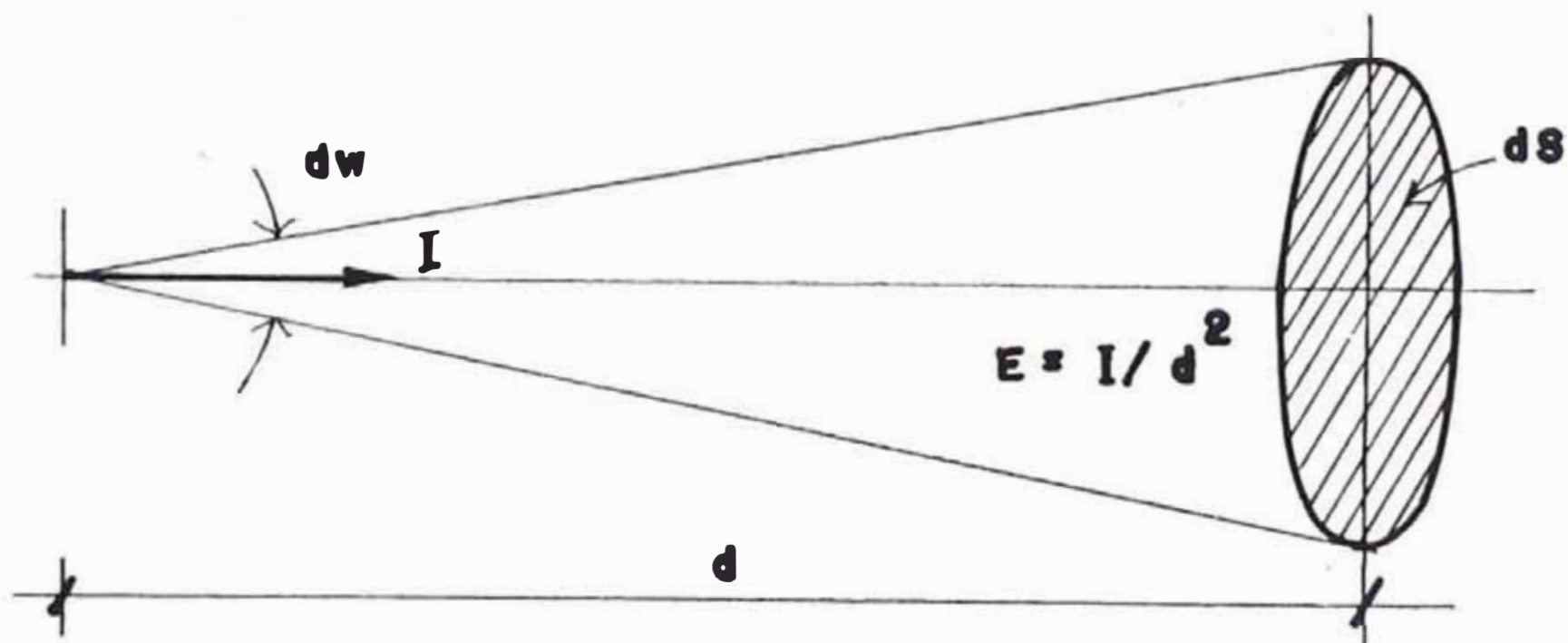


Fig. 8 Ley fundamental de la iluminación

proporcional al cuadrado de la distancia que le separa del mismo".

La ley de la inversa del cuadrado de la distancia se cumple cuando se trata de una fuente puntual de superficies perpendiculares a la dirección del flujo luminoso y la distancia es grande en relación al tamaño de la luminaria. Se considera suficientemente exactas si la distancia es por lo menos cinco veces la máxima dimensión de la luminaria.

Ley del coseno

Esta ley viene enunciada así:

"La iluminancia en un punto cualquiera de una superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado".

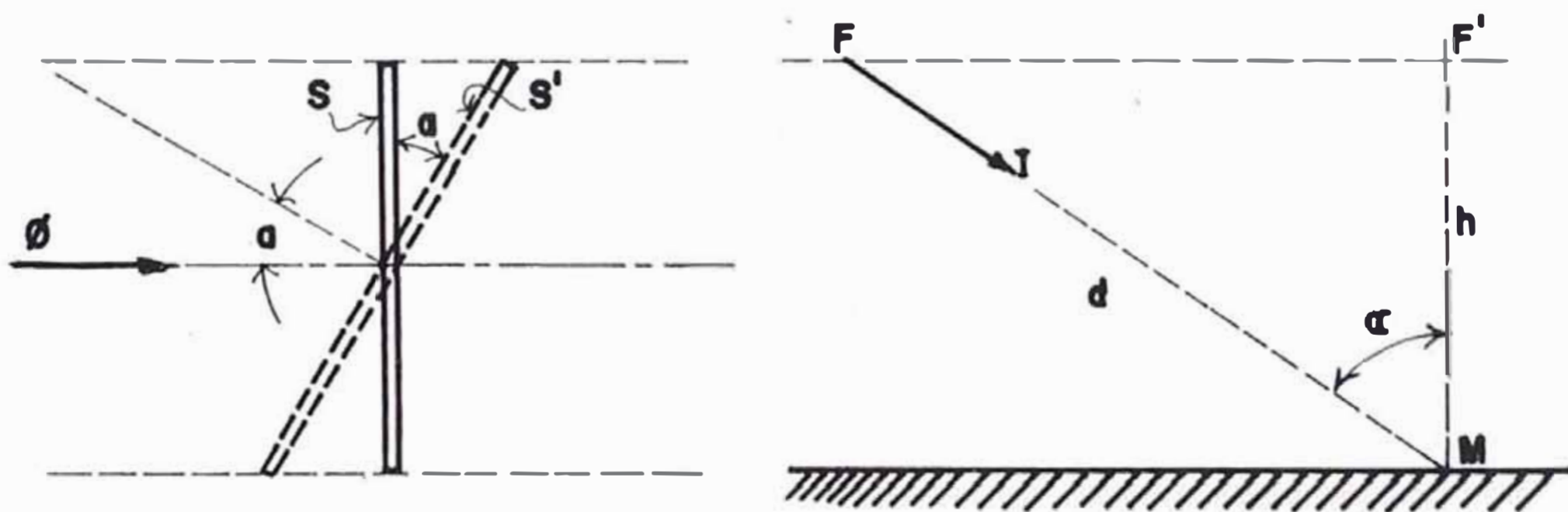


Fig. 9 Ley del coseno

Sea el flujo Φ que incide sobre las superficies S y S' se puede decir entonces que:

$$E = \Phi / S$$

y además

$$S' = S / \cos \alpha$$

La iluminación en el punto S' será

$$E' = \phi / S'$$

y en función de S

$$E' = (\phi / S) \cdot \cos \alpha$$

aplicando la ley fundamental de la iluminación se tiene,

$$E' = (1/d^2) \cdot \cos \alpha$$

a partir de la figura mostrada se obtienen las siguientes expresiones para la iluminancia tanto horizontal como vertical,

Iluminancia Horizontal:

$$E_H = (1/h^2) \cdot \cos^3 \alpha$$

Iluminación Vertical:

$$E_V = (1/h^2) \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha$$

2.2 Iluminación de interiores

Antes de ingresar a lo que es el campo de la iluminación de interiores explicaremos el concepto de las curvas de distribución luminosa o curvas fotométricas.

2.2.1 Curvas fotométricas

El conjunto de la intensidad luminosa de un manantial en todas direcciones constituye lo que se llama la distribución luminosa. El valor de la intensidad luminosa varía en todas direcciones debido a la geometría de la lámpara y de la luminaria que la lleva.

Con aparatos especiales se determina la intensidad luminosa de un mamantial en el espacio con relación a un eje vertical y la representación de esta genera un cuerpo

llamado "sólido fotométrico".

Haciendo pasar un plano por el eje de simetría del cuerpo luminoso se obtiene una sección limitada por una curva que se denomina curva de distribución luminosa.

Mediante la curva fotométrica de un manantial se puede determinar con exactitud la intensidad luminosa, dato

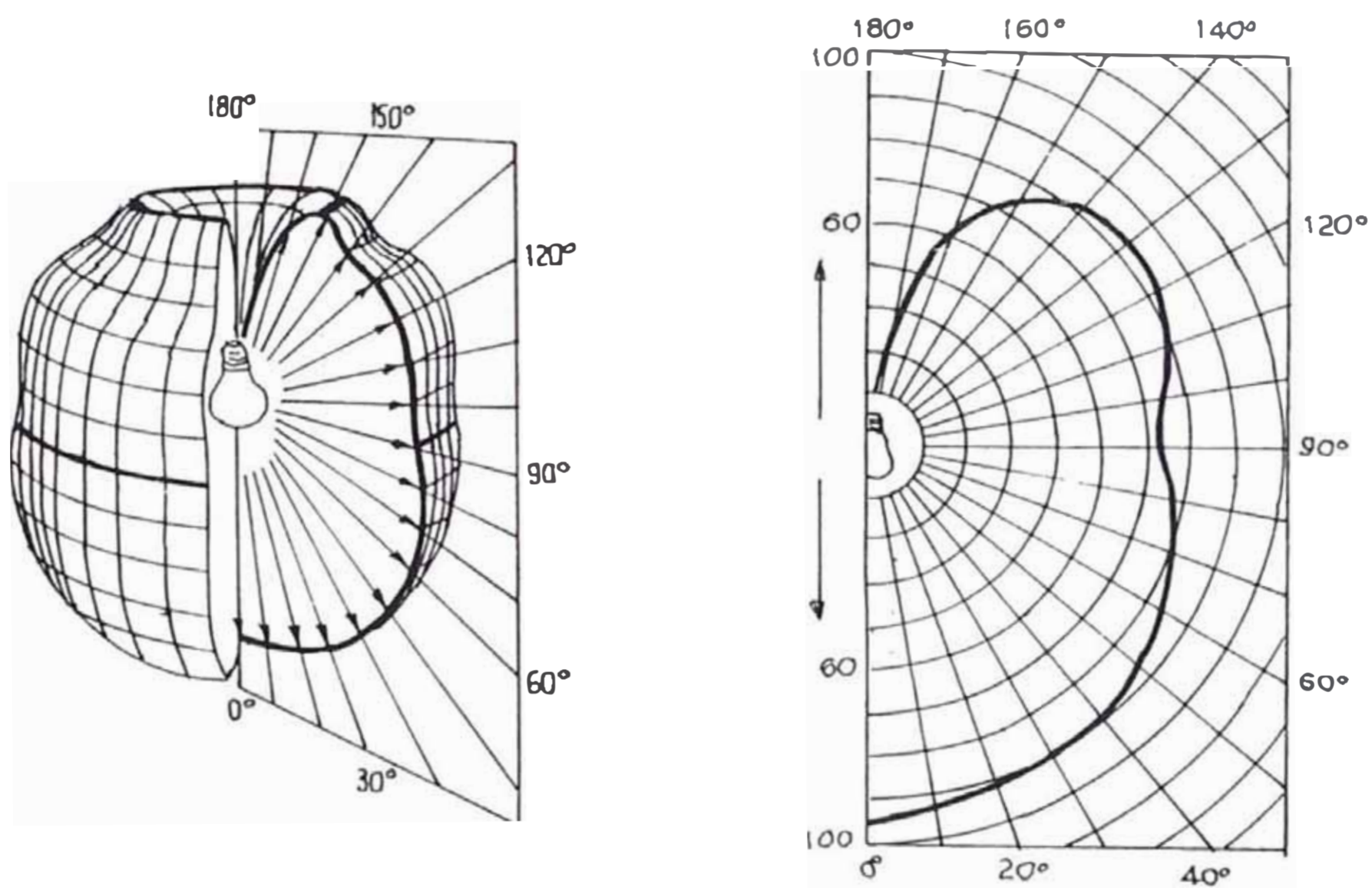


Fig. 10 Sólido fotométrico y curva fotométrica

necesario para los cálculos de iluminación.

2.2.2 Objetivos de la iluminación de interiores

En el cálculo de iluminación de interiores se deben cumplir cuatro condiciones esenciales:

1. Suministrar una cantidad de luz suficiente
2. Eliminar toda causa de deslumbramiento
3. Proveer luminarias especiales para cada caso particular
4. Utilizar fuentes luminosas que aseguren, para

cada caso, una satisfactoria distribución de los colores.

Para esto debe partirse principalmente de los siguientes datos:

- Tipo de actividad a desarrollar
- Dimensiones y características físicas del local a iluminar.

Conocidos estos datos se puede fijar la iluminancia media a obtener y las condiciones de calidad que debe cumplir el alumbrado de acuerdo con los factores que influyen en la visión, llegándose a determinar el tipo de luminaria, el sistema de alumbrado más idóneo y la distribución más conveniente.

2.2.3 Cálculo de interiores

Para hallar el flujo total necesario se aplica la siguiente expresión, más o menos general para todos los métodos de cálculo de iluminación de interiores.

$$\varphi_T = \frac{E_m \cdot S}{n \cdot f \cdot c}$$

donde:

φ_T : Flujo luminoso total necesario (lúmenes)

E_m : Iluminancia media (lux)

S : Superficie a iluminar (m^2)

n : Rendimiento de la instalación

f : Factor de conservación de la instalación

La iluminancia media se fija de acuerdo a la actividad a desarrollar. Existen diferentes normas que recomiendan

niveles de iluminación para las diferentes actividades a realizarse, las que van de acuerdo también al grado de importancia que las autoridades dan a la iluminación.

El rendimiento de la iluminación se obtiene a partir del rendimiento del local y del rendimiento de la luminaria (en algunos métodos de cálculo estos valores vienen considerados como un solo valor asignados otras veces como valores separados).

El rendimiento del local depende de las dimensiones del mismo, de los factores de reflexión del techo paredes y del suelo (en algunos métodos solo consideran los factores de reflexión del techo y las paredes) y también de la forma en que se distribuye la luz (curva fotométrica) esto se refiere a la designación de los sistemas de iluminación: directa, semidirecta, semi-indirecta e indirecta. Se considera además las variantes del tipo de distribución de los haces de luz: muy dirigida, intensiva, extensiva y difusa.

La influencia de las dimensiones del local en el rendimiento de local se expresa a través de un índice de local cuya definición varía según al método de cálculo utilizado.

El rendimiento de la luminaria se refiere al flujo luminoso que se aprovecha de la lámpara y depende de la geometría de la lámpara y de la luminaria así como del material constitutivo del espejo reflector.

El factor de conservación está determinado por la pérdida del flujo luminoso de las lámparas debido tanto a

su envejecimiento natural como al polvo y humedad que puede depositarse en ellas, y a las pérdidas de reflexión o transmisión de la luminaria por los mismos motivos.

Los valores del factor de conservación oscilan entre 0.5 y 0.8 .El valor más alto corresponde a instalaciones situadas en locales limpios, con luminarias cerradas y lámparas de baja depreciación luminosa en los que se efectúan limpiezas frecuentes y reposiciones de lámparas totales o por grupos, mientras que el valor más bajo corresponde a locales polvorientos o sucios con un deficiente mantenimiento de la instalación de alumbrado.

El número de puntos de luz se calcula dividiendo el valor del flujo total necesario entre el flujo luminoso nominal de la lámpara o lámparas contenidas en la luminaria.

2.3 Iluminación de grandes áreas

Si bien es cierto que las definiciones y leyes fundamentales de la iluminación no se ven explícitamente aplicadas en los cálculos de iluminación de interiores , en los cálculos de iluminación de grandes áreas se encuentran más claramente usadas estas ideas.

La iluminación de campos de deportes para profesionales o aficionados, edificios comerciales, áreas de almacenaje y el alumbrado de anuncios de gran tamaño son el campo de aplicación en los que el alumbrado por proyectores resulta particularmente efectivo.

El alumbrado de exteriores comprende el de espacios descubiertos pudiéndose diferenciar en él las siguientes

aplicaciones,

Alumbrado de vías públicas, puentes, túneles, plazas, paseos, jardines, aparcamientos, etc.

- Alumbrado de fachadas de edificios y monumentos
- Alumbrado industrial de parques de materiales, muelles de carga, obras, plantas dosificadoras, accesos, estaciones de servicio, etc.
- Alumbrado deportivo.

2.3.1 Distribución luminosa de un proyector

Proyector o reflector es una luminaria que concentra la luz en un ángulo sólido determinado por medio de un sistema óptico de espejos y/o lentes con el fin de conseguir una intensidad luminosa elevada.

La distribución luminosa en caso de la iluminación con

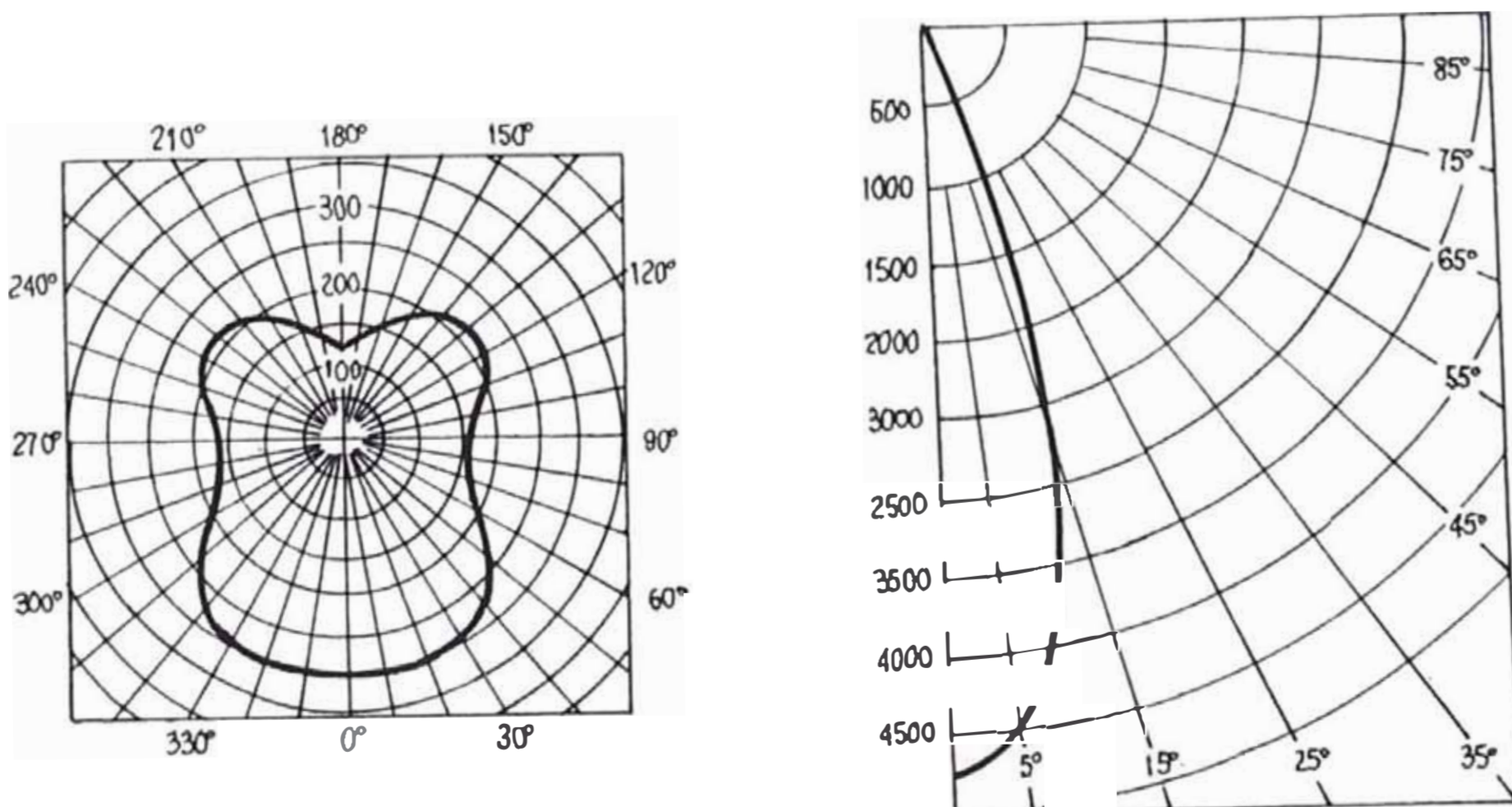


Fig. 11 Comparación de curvas de distribución luminosa

proyectores tiene una representación diferente debido a que los haces luminosos son muy angostos comparados con las luminarias usadas en la iluminación de interiores.

Para mostrar de una manera más precisa la distribución del haz luminoso de un reflector se definen coordenadas apropiadas para tal efecto.

2.3.2 Sistema de coordenadas B-BETA

El sistema de coordenadas utilizados para reflectores es llamado B-BETA. Este sistema se explica con la ayuda de un esquema el cual se muestra a continuación.

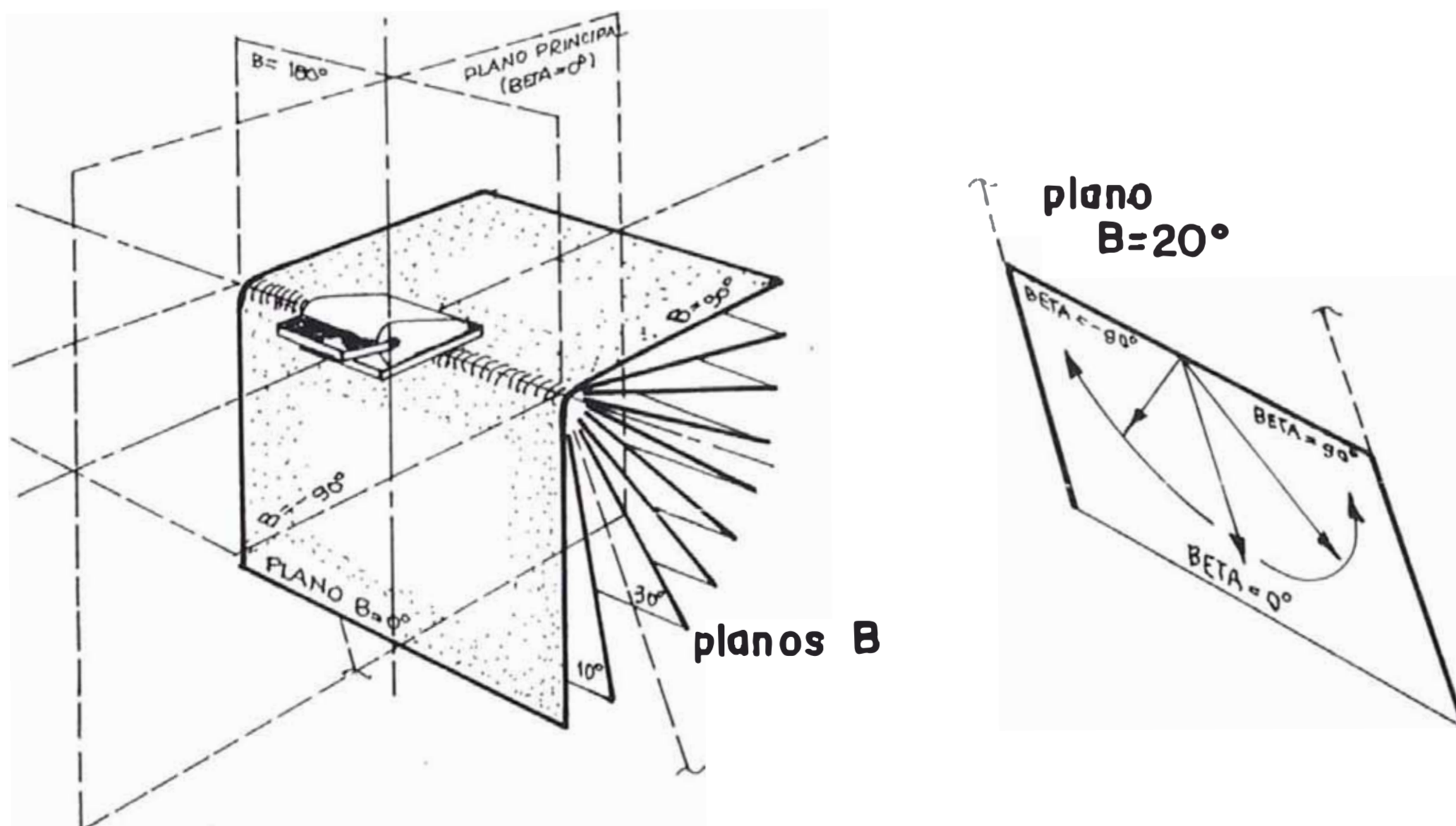


Fig. 12 Sistema coordenado B-BETA

Como se puede apreciar el eje de rotación del reflector coincide con el tomo de un libro cuyas páginas indican los planos B y van desde $B=0^\circ$ (perpendicular al espejo del reflector) hasta $B=180^\circ$ pasando por $B=90^\circ$ que es un plano paralelo al espejo reflector.

Perpendicularmente al eje de rotación y al plano $B=90^\circ$ se genera el plano $BETA=0^\circ$ o PLANO PRINCIPAL que contiene a la dirección $BETA=0^\circ$ de cada plano B . En cada plano B se definen los valores de los ángulos $BETA$ que pueden tomar valores positivos o negativos, siendo positivo el ángulo que va desde el plano principal hacia la derecha visto desde el reflector.

De esta manera la distribución de la intensidad luminosa queda representada, para un reflector dado, de la forma en que muestran las curvas isocandela. Estas curvas se obtienen a partir de los valores de intensidad luminosa para cada valor B - $BETA$ los que en conjunto originan una superficie fotométrica tal como se muestra en la figura. Las curvas de nivel de esta superficie son las curvas isocandela que finalmente se grafican para

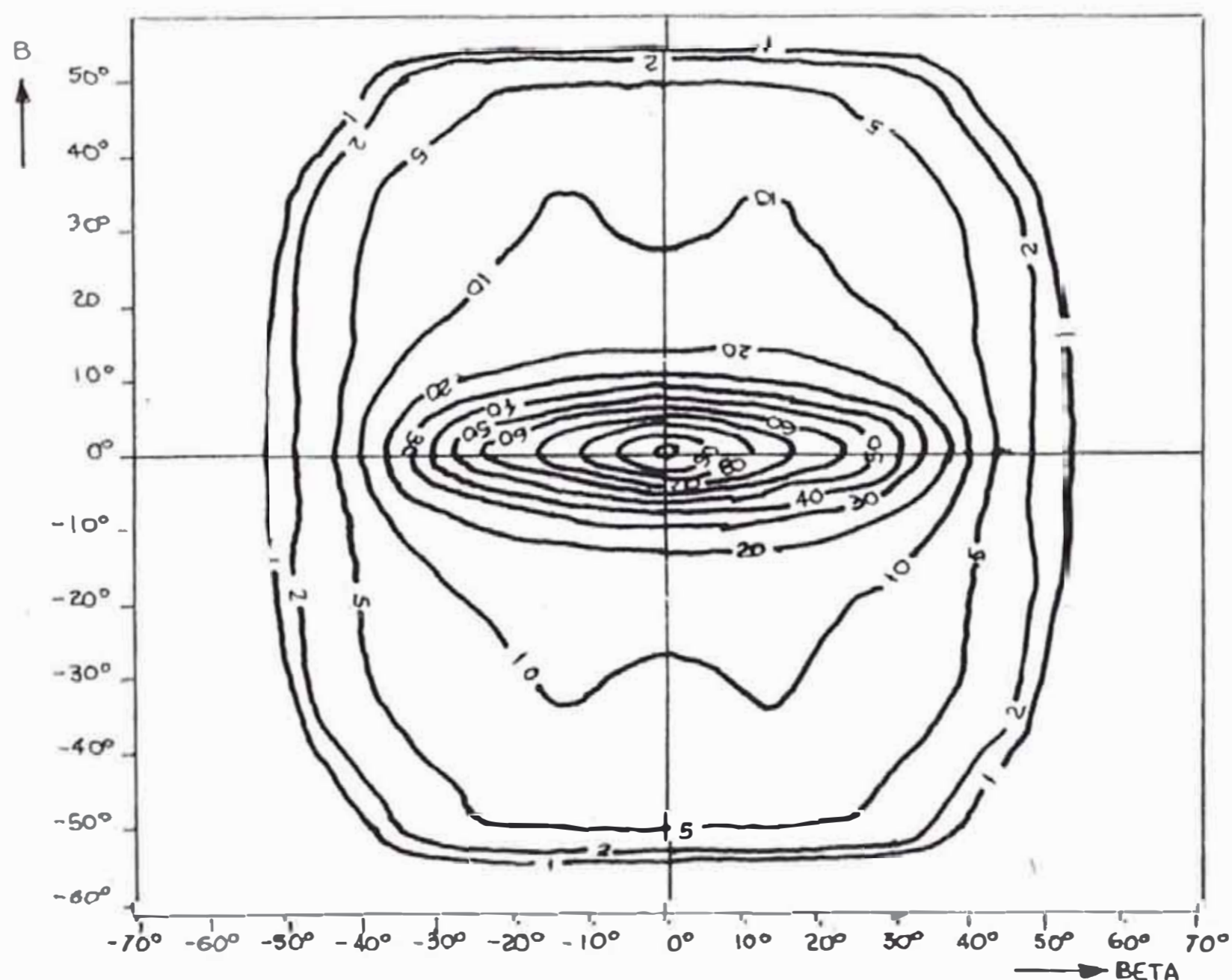


Fig. 13 Diagrama isocandela relativo

formar el diagrama isocandela relativo.

La intersección de la superficie fotométrica y los planos $B=0^\circ$ y $BETA=0^\circ$ representan las curvas de intensidad luminosa en los planos principales.

2.3.3 Luminancia en grandes áreas

Antes de entrar al método de cálculo debemos reconsiderar la definición de luminancia con unos métodos

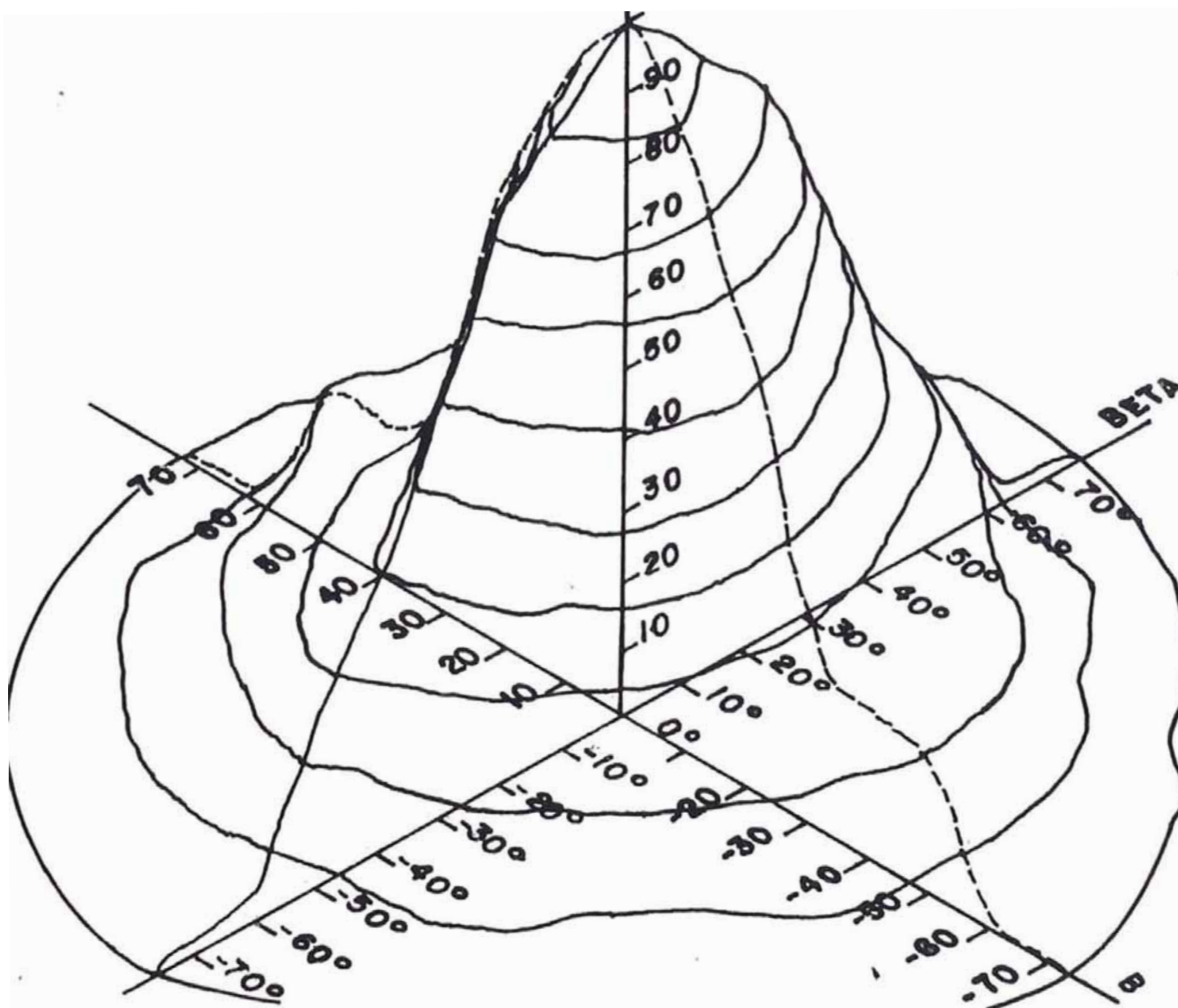


Fig. 14 La superficie fotométrica

más prácticos de evaluación.

La luminancia sobre una superficie depende de las propiedades reflectantes de la misma y pueden ser expresadas por el coeficiente de luminancia q definido como la relación existente entre la luminancia en un

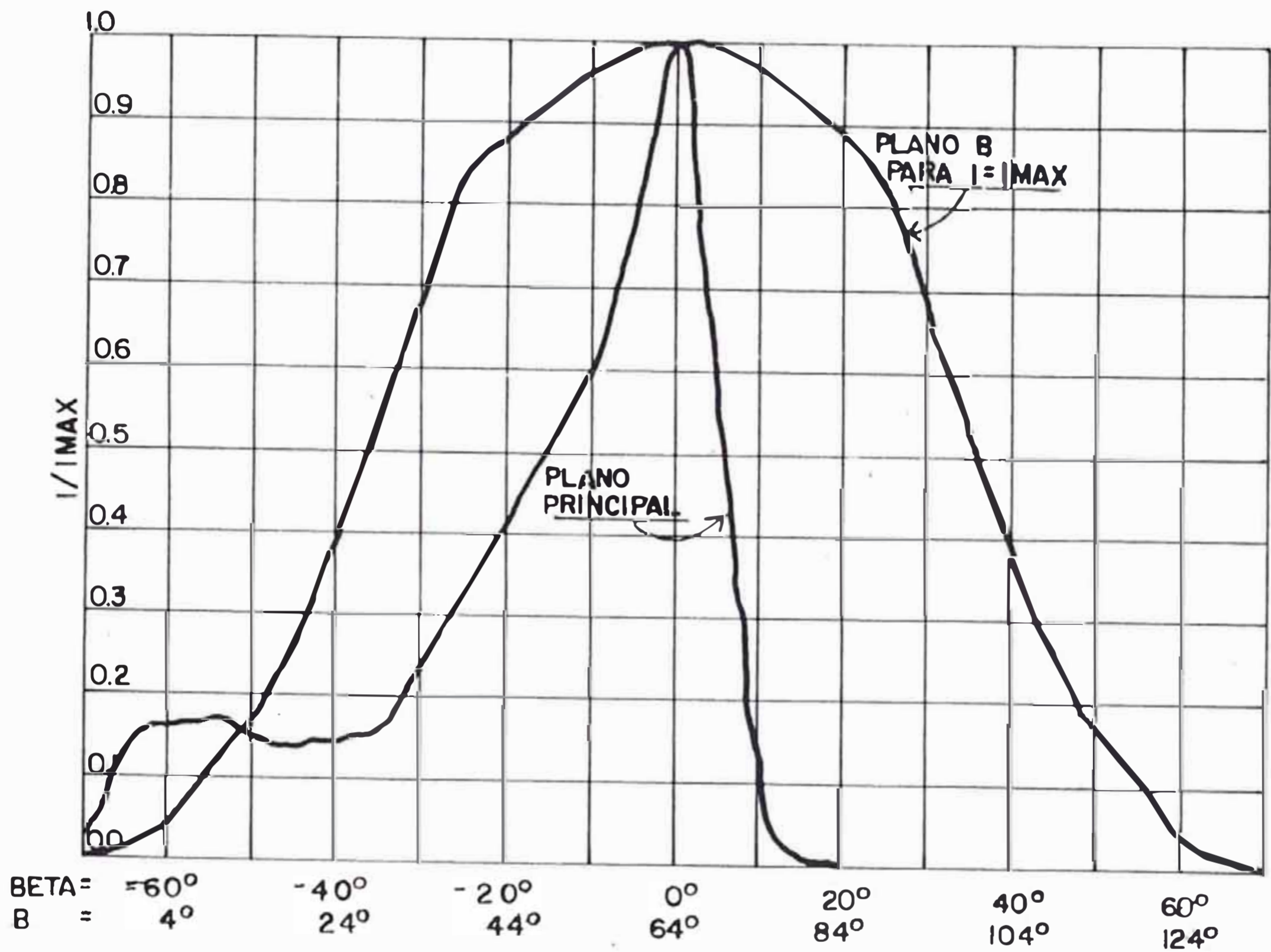


Fig. 15 Curva de intensidad luminosa para los planos principales

punto dado y la iluminancia horizontal en el mismo punto.

$$q = L/E$$

El coeficiente de luminancia depende de la posición relativa del observador y de la fuente de luz con respecto al punto considerado en la superficie.

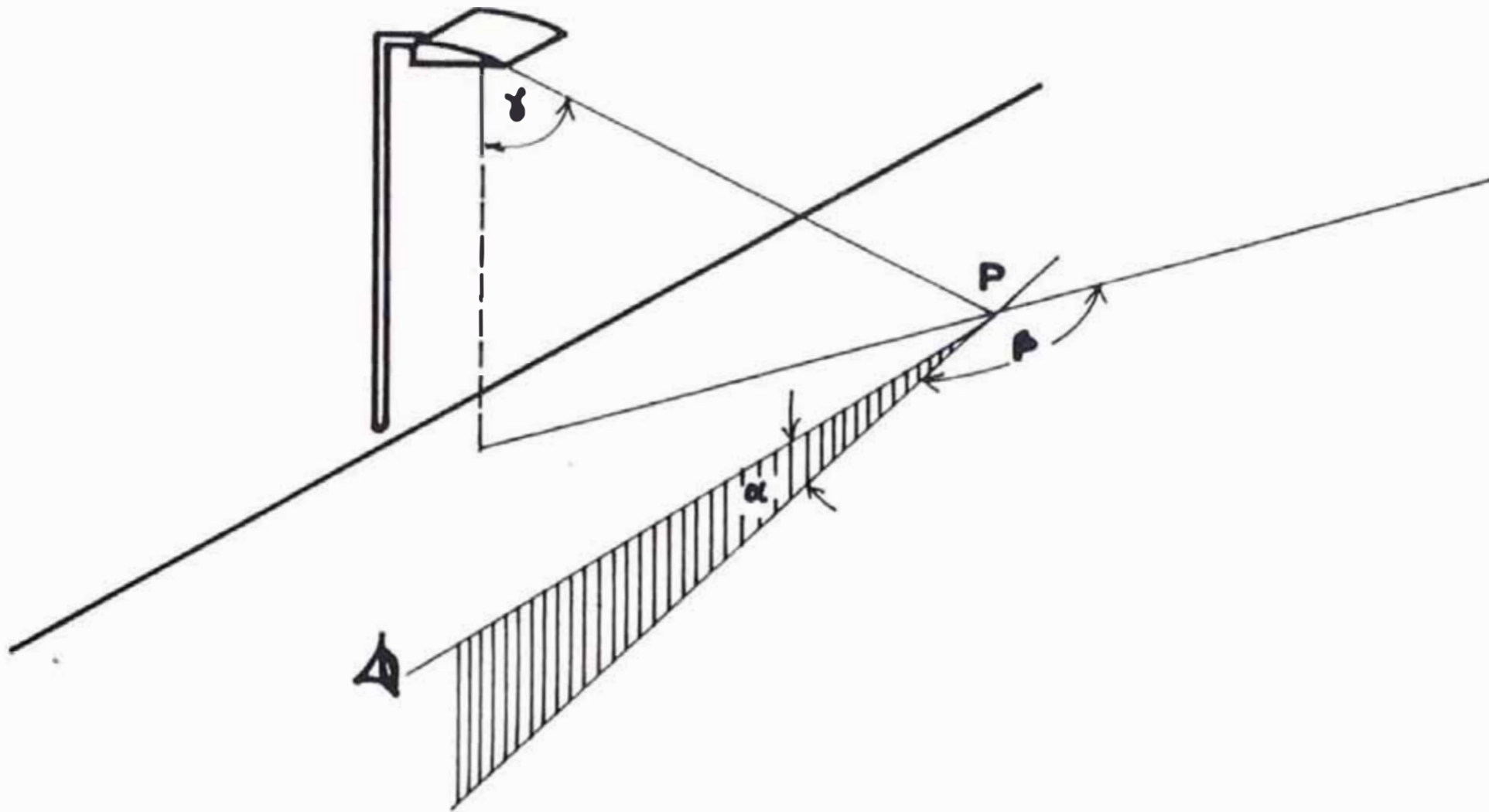


Fig. 16 Angulos de los que depende el coeficiente de luminancia

$$q = q(\alpha, \beta, \Gamma)$$

donde:

α : Angulo que forma la línea visual con el plano horizontal.

β : Angulo comprendido entre los planos de observación y de incidencia de la luz.

Γ : Angulo de incidencia de la luz.

El ángulo de visión se ha fijado en 1° , aunque su valor oscila entre 0.5° y 1.5° para un observador situado a una distancia de 60 a 160 m. del punto de visión. Así pues el coeficiente de luminancia es función de Γ y β , pudiéndose expresar su valor ya sea en una tabla o mediante una indicatriz de reflexión como se muestra.

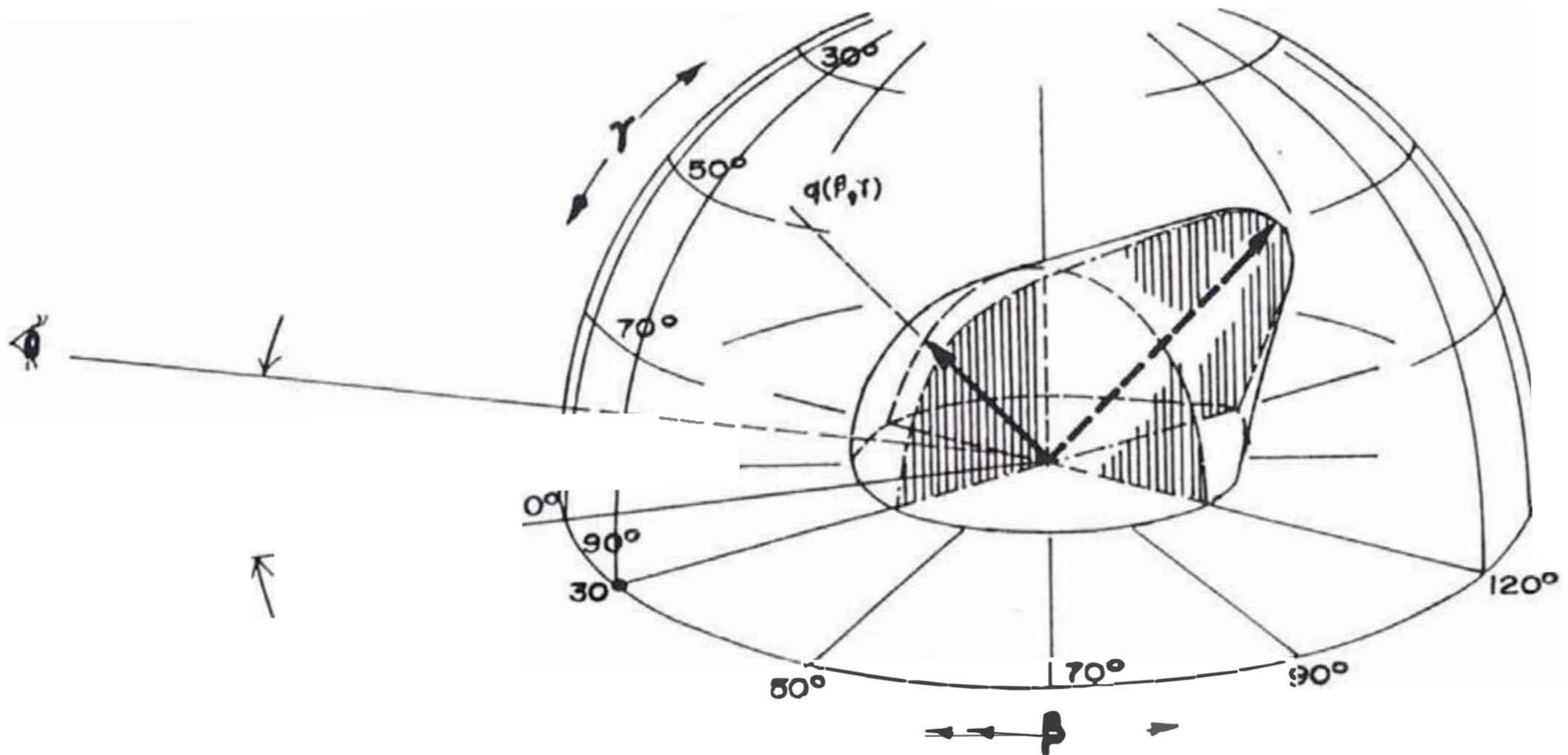


Fig. 17 Indicatriz del coeficiente de luminancia

β : Angulo comprendido entre el plano de observaci3n y el plano de incidencia de la luz.

GAMMA: Angulo de incidencia de la luz.

q: Coeficiente de luminancia.

La indicatriz de reflexi3n puede obtenerse por medio de medidas de laboratorio pero es muy laborioso. Sin embargo, para los c3lculos de luminancia y considerando la superficie en estado seco, las caracter3sticas de las mismas pueden definirse con suficiente exactitud por solo dos par3metros, que se pueden medir f3cilmente. Estos son:

El coeficiente de luminancia medio:

$$q_0 = \frac{\iint q \, dw}{\iint dw}$$

dw: diferencial de ángulo sólido

El factor de especularidad:

$$k_p = 10 \log (q_0/q_p)$$

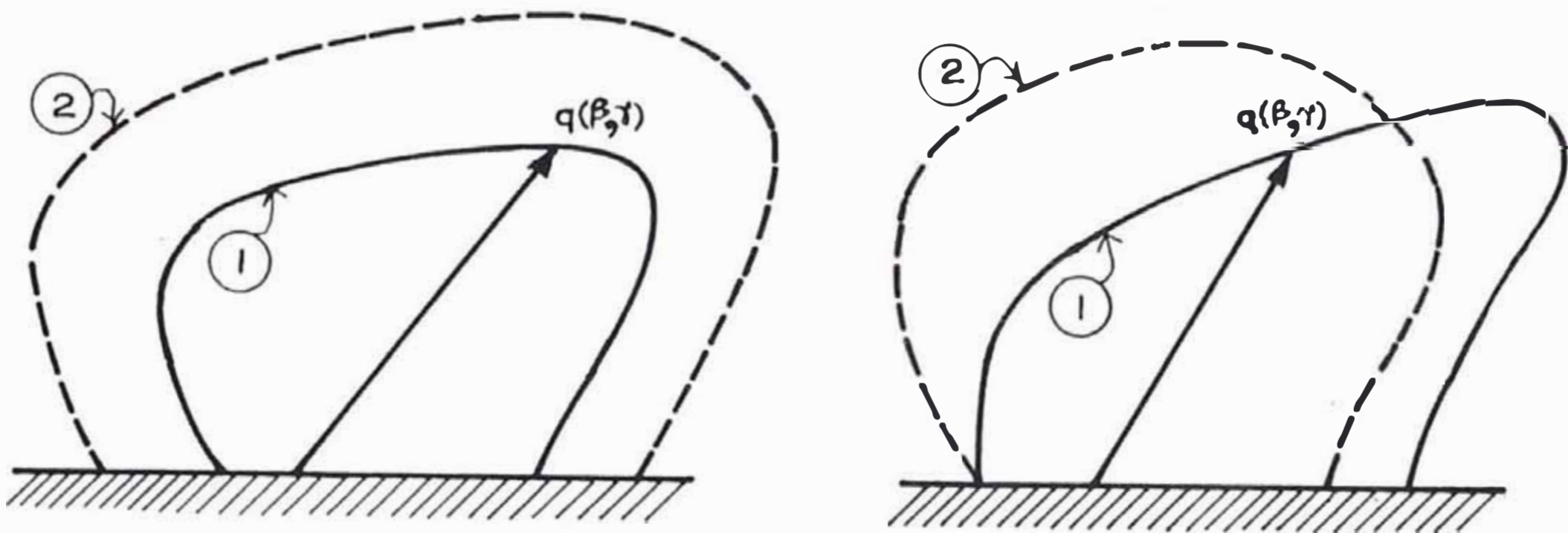
q_p: coeficiente de luminancia para GAMMA=0°

Se pueden clasificar las superficies en función de estos valores, q₀ y k_p en un gráfico y dan a continuación una tabla de los mismos.

El volumen de la indicatriz varía con el valor de q₀, así mismo, la forma de la indicatriz varía con el valor de k_p, así pues en la fig. 18 (a) se verifican valores diferentes de q₀ y un mismo valor de k_p para dos curvas indicatrices (1) y (2). En la fig. 18 (b) se constata un mismo valor de q₀ y diferentes valores de k_p.

Comparando las indicatrices q (tablas R) de las superficies de la misma clase y con el mismo valor q₀ (pero con diferentes valores k_p) puede verse que las diferencias entre sí, no son apreciables.

Esto significa que para cualquier superficie los cálculos de luminancia pueden hacerse para una superficie de la clase a la cual pertenece, de acuerdo a su valor k_p.



(a) (b)
Fig. 18 Variación de la indicatriz

Indicatriz q a través
de un plano β
 $q_{o1} \neq q_{o2}$

$$k_{p1} = k_{p2}$$

Indicatriz q a través
de un plano β
 $q_{o1} = q_{o2}$

$$k_{p1} \neq k_{p2}$$

TABLA N° 1
CLASIFICACION DE SUPERFICIES

CLASE	RANGO DEL FACTOR <u>ESPECULARIDAD</u>	TIPO DE <u>REFLEXION</u>
RI	$k_p < 0.22$	Casi difuso
RII	$0.22 \leq k_p < 0.33$	Medio
RIII	$0.33 \leq k_p < 0.44$	Ligeramente brillante
RIV	$0.44 \leq k_p < 0.55$	Fulgurante

Para cada clase, las superficies tipo son las siguientes:

CLASE I	$k_p = 0.18$
CLASE II	$k_p = 0.25$
CLASE III	$k_p = 0.37$
CLASE IV	$k_p = 0.49$

Las indicatrices q , o las tablas R para estas superficies tipo se dan normalmente para $q_0 = 1$, para ajustarlas al valor real q los valores deben multiplicarse por el q_0 de la superficie analizada.

Utilización de las curvas R

La expresión para la luminancia en un punto debido a un reflector es,

$$L_p = \frac{I(\beta, \text{BETA}) * \text{COS}^3(\text{GAMMA}) * q(\beta, \text{GAMMA})}{H^2}$$

la que se transforma en,

$$L_p = \frac{I(\beta, \text{BETA}) * R(\beta, \text{GAMMA})}{H^2}$$

puesto que el valor dado en tablas es,

$$R(\beta, \text{GAMMA}) = \text{COS}^3(\text{GAMMA}) * q(\beta, \text{GAMMA})$$

Las gráficas que se van a utilizar son las correspondientes a los valores de luminancia para una intensidad luminosa constante, como la que se muestra en la figura 19.

Esta gráfica se obtuvo para aplicarse en alumbrado público se representan las curvas iso-luminancias para intensidad constante.

Aunque no se dan referencias de los parámetros entre los cuales estas curvas son válidas suponemos que estas oscilan entre alturas de montaje de 6 a 28 m. lo que nos permite utilizarlas en los cálculos de iluminación de áreas grandes.

Para ilustrar mejor la aplicación que se hace de esta

curva mostramos la figura 20 siguiente en la cual se ubica al observador y a los puntos que se referencian en la fig. 19.

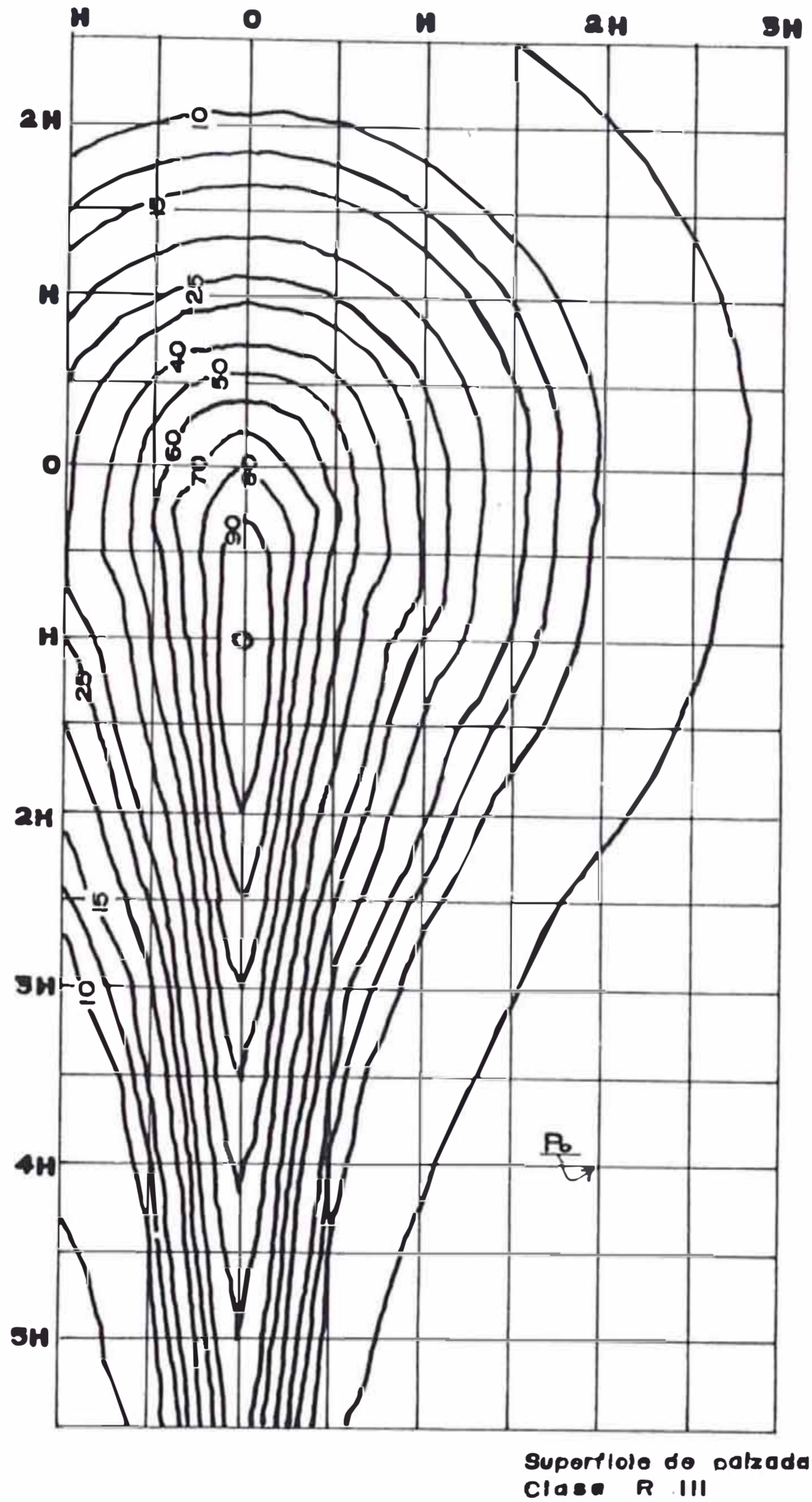


Fig. 19 Curvas iso-luminancia para intensidad constante

donde:

H: Altura de montaje

Po: Determinación del punto ubicado en la fig. 20

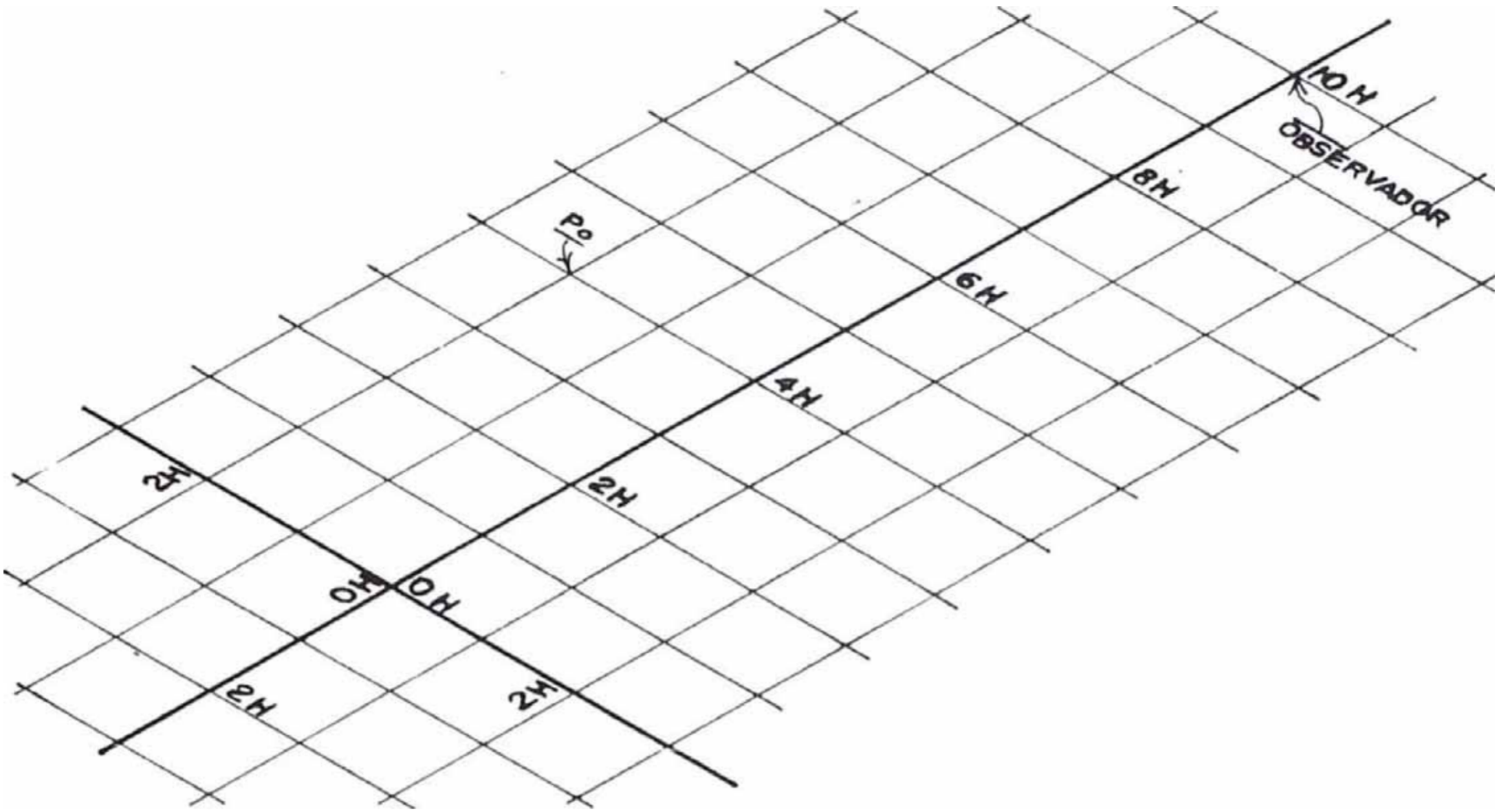


Fig. 20 Posición del observador en la curva Iso-luminancia

2.4 Iluminación perimétrica

Por iluminación perimétrica se entiende la iluminación del área exterior a los límites de una propiedad e implica el área de las fachadas y cercos perimétricos si los hubiere.

En la iluminación perimétrica es importante resaltar la necesidad del alumbrado de seguridad en el que se tienda a causar deslumbramiento a cualquier persona extraña que se acerque al perímetro de una propiedad.

También debe asegurarse la cantidad suficiente de luz con el fin de permitir al personal de resguardo el mejor cumplimiento de su misión.

Teniendo en cuenta estas consideraciones vamos a desarrollar el concepto de luminancia de velo con el fin de aplicarlo al diseño de la iluminación perimétrica.

2.4.1 Luminancia de velo

La luminancia de velo que una persona recibe en una instalación de iluminación se divide en dos tipos: la luminancia de velo producida por los reflectores y la luminancia de velo producida por el medio.

Luminancia de velo producida por los reflectores

De acuerdo con Holladay L. L., Adrian W. y Stiles W. la luminancia equivalente de la veladora L_{velo} puede estimarse con la siguiente fórmula empírica.

$$L_{velo} = k \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NR(P)} \frac{(E_{ojo})_{ij}}{\theta_{ij}}$$

donde:

$(E_{ojo})_{ij}$: Iluminación en el ojo en un plano perpendicular a la línea de visión causada por el reflector j -ésimo desde el i -ésimo poste.

θ_{ij} : Angulo entre la dirección de visión y la luz que incide en el ojo desde el reflector j -ésimo del i -ésimo poste.

k : Factor de envejecimiento (valor medio =10).

La cantidad de contraste extra que hace falta para volver a ver justamente el objeto cuando hay deslumbramiento con respecto al contraste original, es la medida por la que se expresa la pérdida de perceptibilidad causada por el deslumbramiento de

incapacidad.

Esta cantidad, tal como prescribe la CIE se obtiene tomando el incremento de contraste relativo necesario de un objeto visto con un ángulo de θ' y se llama "incremento de umbral"; TI. Se puede demostrar que con luminancias medidas en las superficie comprendidas entre 0.05 y 5 cd/m² el incremento de umbral se puede calcular con la fórmula:

$$TI = \frac{L_{velo}}{L_{med} \cdot 0.8}$$

(TI en %)

Luminancia de velo producida por el medio ambiente

La luminancia de velo producida por el medio ambiente Lve es producida por la luz reflejada por la superficie iluminada.

Este parámetro juega un rol importante por ser una medida para el estado de adaptación de los ojos del observador. Su valor puede ser calculado si las luminancias de la superficie son conocidas. Para observadores sobre o muy cerca de la superficie iluminada y mirando hacia posiciones de la misma puede ser aproximada con la luminancia media o promedio.

$$Lve = 0.035 Lmed$$

Esta aproximación fue hecha por investigadores del Centro de Supervisión y Diseño de iluminación de PHILIPS en cooperación con la Universidad de Einshoven de Holanda.

Grado de control de deslumbramiento

La medida para la evaluación del deslumbramiento para iluminación con reflectores esta dada por la siguiente relación:

$$GF = 7.3 - 2.4 \log (L_{\text{velo}}/L_{\text{ve}}^{0.9})$$

donde:

- GF : Señal de control de deslumbramiento
- Lvelo: Luminancia de velo producida por los reflectores
- Lve : Luminancia de velo producida por el medio ambiente

El valor de GF se refiere a los nueve puntos de la escala de apreciación subjetiva que se usa en iluminación de vías.

TABLA N°2
ESCALA DE EVALUACIONES SUBJETIVAS

VALOR GF	Nivel de luminancia / Uniformidad	DESLUMBRAMIENTO
1	malo	intolerable
3	inadecuado	molesto
5	regular	admisible
7	bueno	satisfactorio
9	excelente	inapreciable

Se han efectuado extensas investigaciones para determinar índices de deslumbramiento aplicables al alumbrado público. Se solicitó a un gran número de observadores evaluar el grado de deslumbramiento molesto de varias instalaciones obteniéndose la escala de la tabla anterior.

3.0 PROCEDIMIENTOS DE CALCULO

En esta parte del trabajo se desarrollan los métodos y procedimientos que tienen que ver más directamente con la programa desarrollado, el cual se fundamenta en la teoría descrita y en la información mínima provista de parte de los fabricantes.

3.1 Determinación de la intensidad luminosa

El valor de la intensidad luminosa se obtiene a partir de un arreglo o matriz en que para valores de B y $BETA$ se tiene un valor de la intensidad luminosa en esa dirección con relación a la intensidad luminosa máxima del reflector (I/I_{max}).

Una vez determinada esta matriz de datos para un reflector dado se evalúa la intensidad luminosa para un par ($B, BETA$) mediante interpolación, se considera que la que mejor se acerca a los valores reales es la aproximación cuadrática entre los valores de I/I_{max} vs. B ($BETA=constante$) e I/I_{max} vs. $BETA$ ($B=constante$).

Para realizar la interpolación cuadrática se necesitan seis puntos ubicados tres de ellos en un plano $B=constante$ y tres en un plano $BETA=constante$.

Supongamos que tenemos la curva fotométrica de un reflector para $BETA=constante$ como se muestra en la fig. 21, los tres valores B que tomaremos se determinan de la

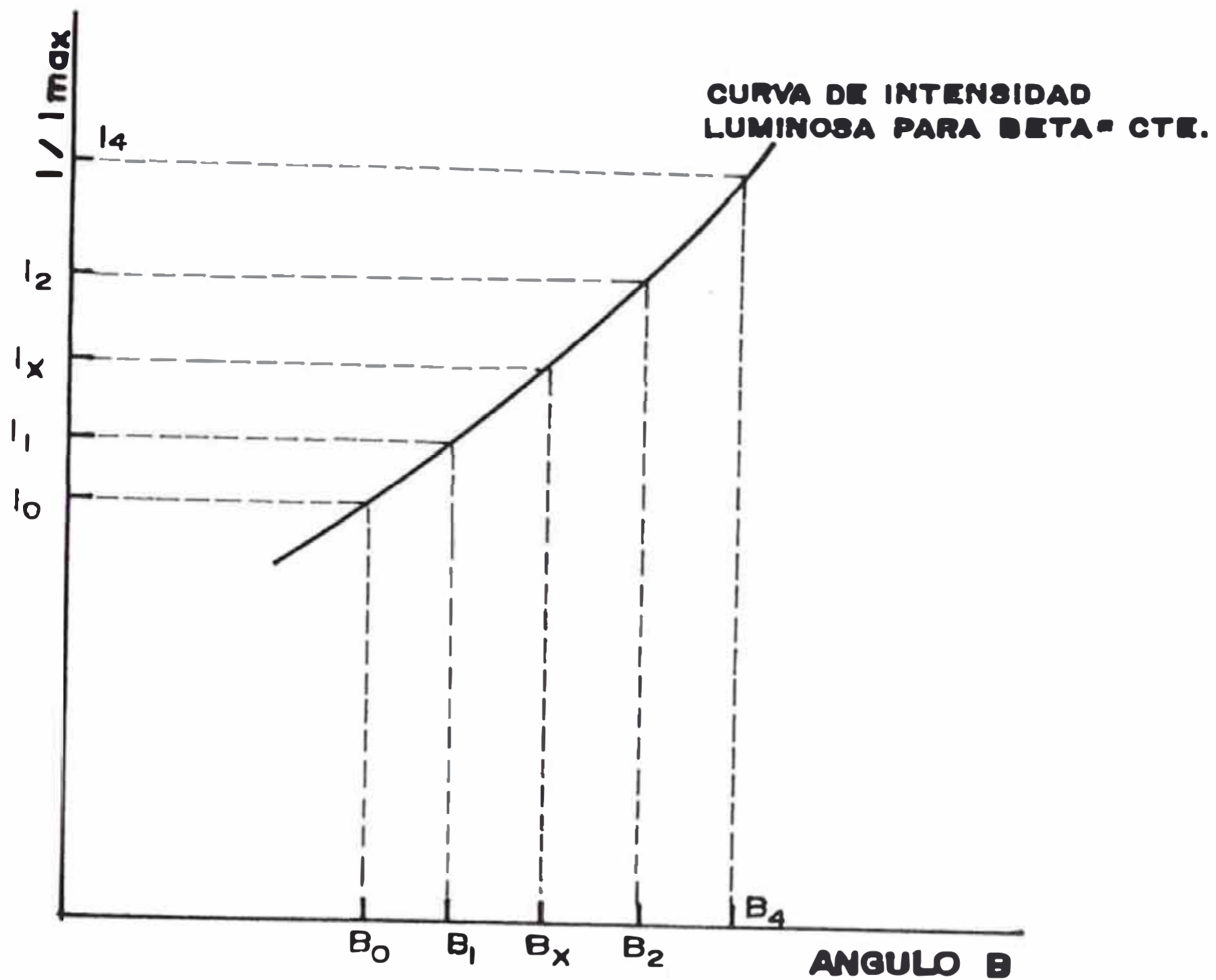


Fig. 21 Determinación de la intensidad luminosa I_x siguiente manera:

B_1 y B_2 son los ángulos en cuyo intervalo esta B_x .

(B_1 y B_2 son los dos primeros valores a hallarse).

El tercer valor B_3 será,

$$B_3 = B_0 \quad \text{si } B_x < (B_1 + B_2) / 2$$

$$B_3 = B_4 \quad \text{si } B_x \geq (B_1 + B_2) / 2$$

De esta misma manera se procede para hallar los valores correspondientes a la curva fotométrica para $B = \text{constante}$, esto es $BETA_1, BETA_2$ y $BETA_3$.

La expresión que define I se expresa de la siguiente

forma,

$$I = A(\text{BETA})^2 + C(\text{BETA}) + D \quad (B = \text{constante})$$

$$I = A_1(B)^2 + C_1(B) + D_1 \quad (\text{BETA} = \text{constante})$$

Diferenciando la expresión de la intensidad se obtiene,

$$dI = (\partial I / \partial (\text{BETA})) * d(\text{BETA}) + (\partial I / \partial B) * dB$$

evaluando las derivadas parciales de I con respecto de BETA y B resulta,

$$\partial I / \partial (\text{BETA}) = 2 * A * \text{BETA} + C$$

$$\partial I / \partial B = 2 * A_1 * B + C_1$$

para hallar los coeficientes A, C, A₁ y C₁ se forman dos sistemas de ecuaciones de segundo grado con tres incógnitas.

$$I_1 = A * \text{BETA}_1^2 + C * \text{BETA}_1 + D$$

$$I_1 = A_1 * B_1^2 + C_1 * B_1 + D_1$$

$$I_2 = A * \text{BETA}_2^2 + C * \text{BETA}_2 + D$$

$$I_2 = A_1 * B_2^2 + C_1 * B_2 + D_1$$

$$I_3 = A * \text{BETA}_3^2 + C * \text{BETA}_3 + D$$

$$I_3 = A_1 * B_3^2 + C_1 * B_3 + D_1$$

Resolviendo los dos sistemas se aplican a la ecuación de la derivada de I teniendo en cuenta lo siguiente,

$$dI = I_x - I(B_1, \text{BETA}_1)$$

$$d(\text{BETA}) = \text{BETA}_X - \text{BETA}_1$$

$$dB = B_X - B_1$$

con lo que se obtiene la expresión siguiente,

$$I_x = I(B_1, \text{BETA}_1) + (2 * A * \text{BETA}_X + C) * (\text{BETA}_X - \text{BETA}_1)$$

$$+ (2 * A_1 * B_X + C_1) * (B_X - B_1)$$

Análogamente se procede para calcular los valores de la tabla R ya que esta tiene también una dependencia cuadrática entre los valores X e Y con respecto a R de la misma manera que lo tienen B y BETA con respecto a I.

3.1.1 Determinación de los ángulos B-BETA

Los ángulos B y BETA se determinan a partir de los puntos A: Aiming del reflector en donde incide el haz de máxima intensidad; P: Punto en el plano horizontal en

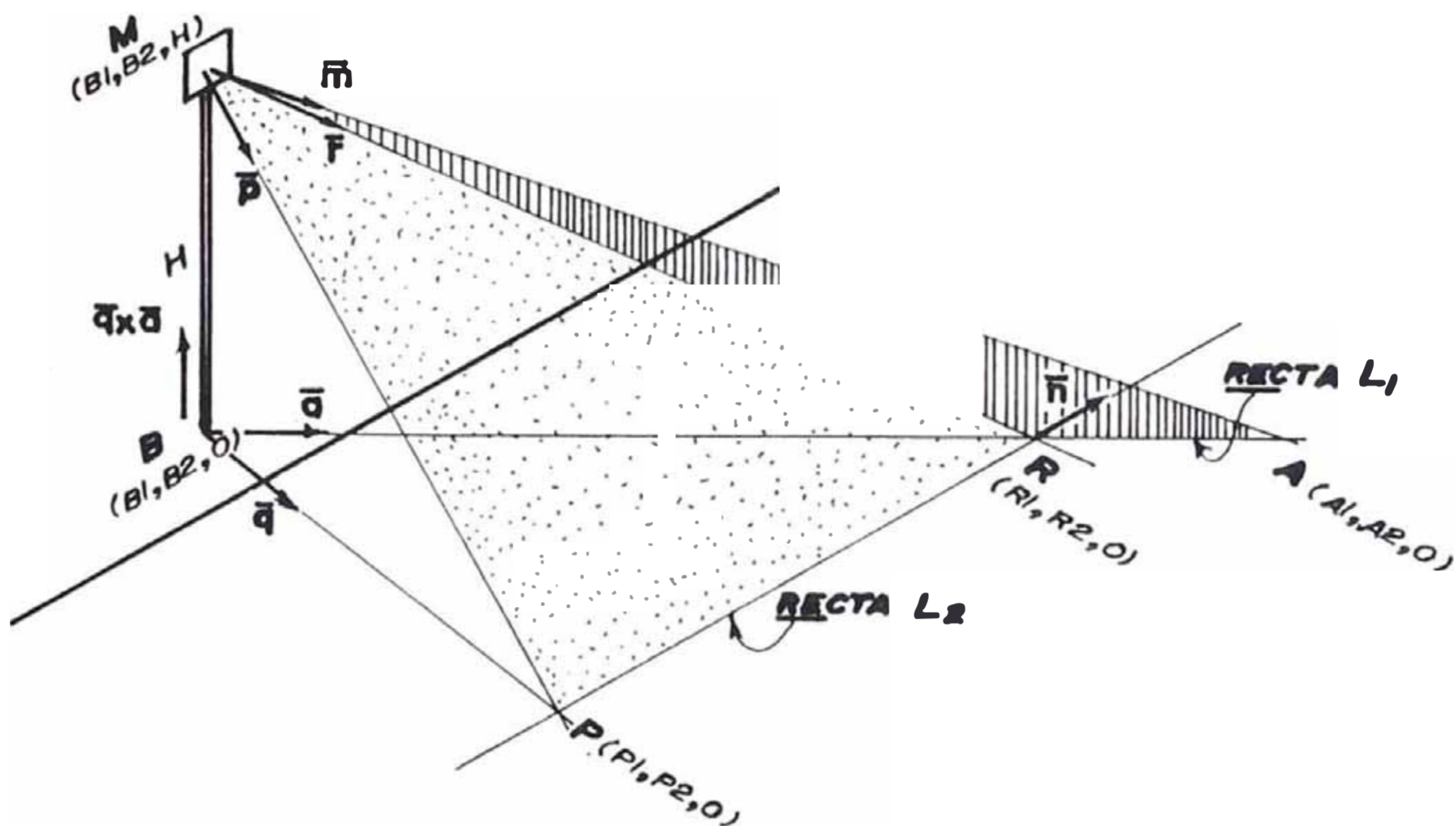


Fig. 22 Esquema para la determinación de B-BETA

donde se desea evaluar los ángulos B y BETA: B: Base del poste en la que va el reflector; H: altura de montaje del reflector.

Estos puntos se definen en un sistema de ejes coordenados XYZ cuyo plano XY corresponde al plano en que se encuentra el área a iluminar.

El punto R de la fig.22 se define como la intersección de las rectas L_1 y L_2 que son ortogonales entre sí siendo además L_1 la recta que une los puntos A y B. El punto R se determina con la ayuda de los vectores \vec{a} , \vec{m} y \vec{n} .

Posteriormente se determinan los vectores \vec{r} , \vec{p} y \vec{q} a

partir de los cuales se determina B, BETA y GAMMA.

$$\hat{a} = A - B = (A_1 - B_1, A_2 - B_2, 0)$$

$$\hat{m} = A - M = (A_1 - B_1, A_2 - B_2, -H)$$

$$\hat{n} = \hat{a} \times \hat{m} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \end{vmatrix}$$

$$\hat{n} = (a_2 \cdot m_3 - a_3 \cdot m_2) \hat{i} + (a_3 \cdot m_1 - a_1 \cdot m_3) \hat{j} + (a_1 \cdot m_2 - a_2 \cdot m_1) \hat{k}$$

$$\hat{n} = (B_2 - A_2, A_1 - B_1, 0)$$

Las rectas L1 y L2 se definen como,

$$L1: B + \hat{a} \cdot t \quad \rightarrow (B_1, B_2, 0) + (A_1 - B_1, A_2 - B_2, 0) \cdot t$$

$$L2: P + \hat{n} \cdot r \quad \rightarrow (P_1, P_2, 0) + (B_2 - A_2, A_1 - B_1, 0) \cdot r$$

hallando la intersección de L1 y L2 se obtiene,

$$R_1 = P_1 + \frac{(B_2 - A_2)[(P_1 - B_1)(A_2 - B_2) - (P_2 - B_2)(A_1 - B_1)]}{(A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2}$$

$$R_2 = P_2 + \frac{(A_1 - B_1)[(P_1 - B_1)(A_2 - B_2) - (P_2 - B_2)(A_1 - B_1)]}{(A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2}$$

los vectores \hat{r} , \hat{p} y \hat{q} se expresan como,

$$\hat{r} = R - M = (R_1 - B_1, R_2 - B_2, -H) \quad |\hat{r}| = [(R_1 - B_1)^2 + (R_2 - B_2)^2 + H^2]^{1/2}$$

$$\hat{p} = P - M = (P_1 - B_1, P_2 - B_2, -H) \quad |\hat{p}| = [(P_1 - B_1)^2 + (P_2 - B_2)^2 + H^2]^{1/2}$$

$$\hat{q} = P - B = (P_1 - B_1, P_2 - B_2, 0)$$

$$\hat{r} \cdot \hat{m} = (R_1 - B_1)(A_1 - B_1) + (R_2 - B_2)(A_2 - B_2) + H^2$$

$$\hat{r} \cdot \hat{p} = (R_1 - B_1)(P_1 - B_1) + (R_2 - B_2)(P_2 - B_2) + H^2$$

$$\hat{r} \times \hat{m} = [H(A_2 - R_2), H(R_1 - A_1), (R_1 - B_1)(A_2 - B_2) - (R_2 - B_2)(A_1 - B_1)]$$

En la Fig. 23 vemos la ubicación en planta del poste (punto B), el punto de aiming (punto A) y finalmente el punto R; entonces,

$$a=R1-B1$$

$$b=R2-B2$$

$$c=A1-B1$$

$$d=A2-B2$$

además,

$$a/b=c/d$$

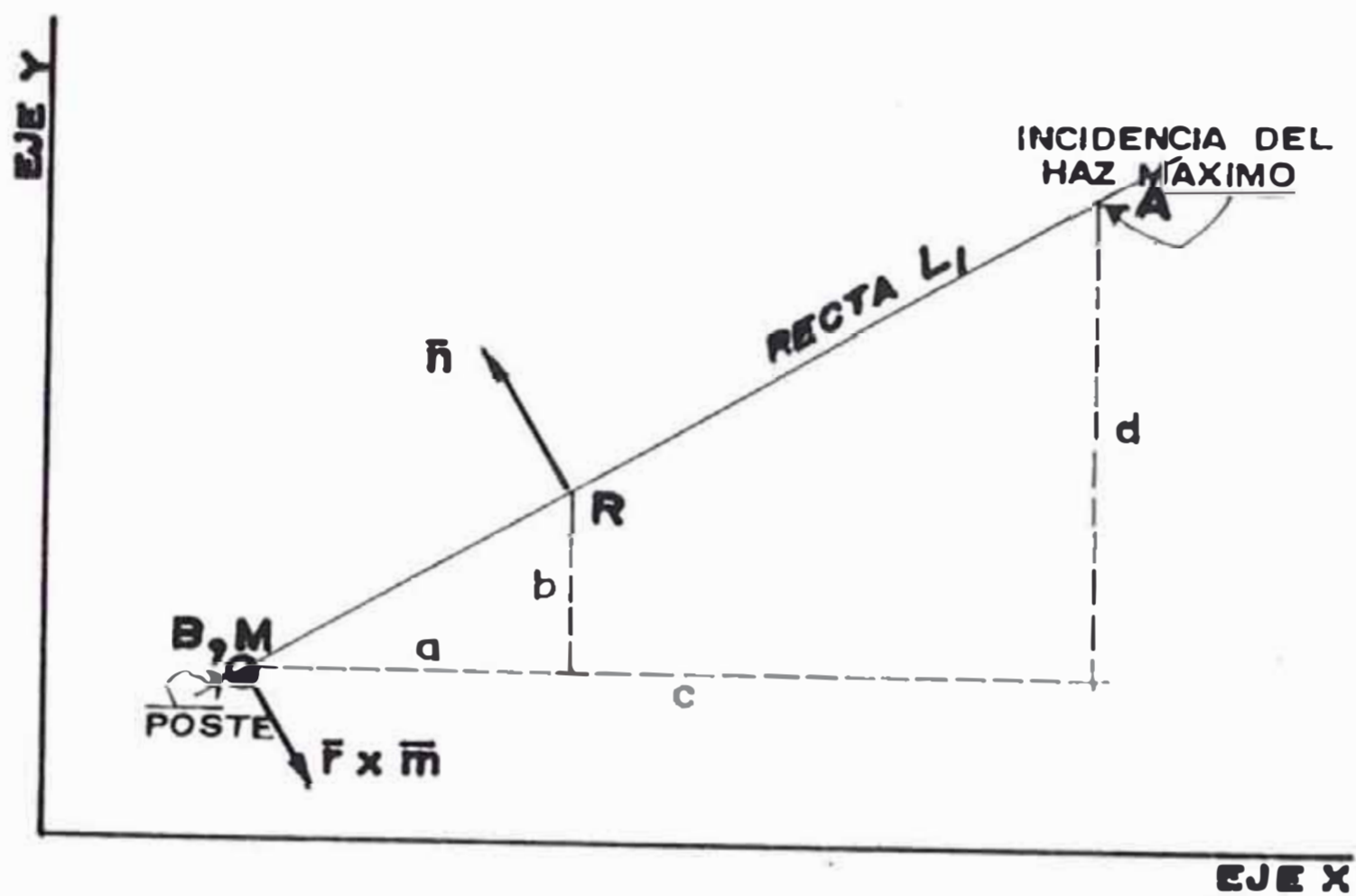


Fig. 23 Vista en planta del plano XY

$$a \cdot d = b \cdot c$$

$$a \cdot d - b \cdot c = 0$$

reemplazando con sus respectivos valores se tiene,

$$(R1-B1)(A2-B2) - (R2-B2)(A1-B1) = 0$$

luego,

$$\hat{r} \times \hat{m} = [H(A2-R2), H(R1-A1), 0]$$

$$\hat{q} \times \hat{a} = (0, 0, (P1-B1)(A2-B2) - (P2-B2)(A1-B1))$$

Para determinar los ángulos B, BETA y GAMMA (Γ) aplicamos los principios del álgebra vectorial siendo la magnitud del ángulo B,

$$B = \cos^{-1} \left[\frac{\hat{r} \cdot \hat{m}}{|\hat{r}| |\hat{m}|} \right]$$

su signo viene dado por el signo del cociente de las

componentes de los vectores $\hat{r} \times \hat{m}$ y \hat{n} ,

$$\text{signo } B = \text{signo} [H(A_2 - R_2) / (B_2 - A_2)]$$

también en el caso de que $B_2 = A_2$,

$$\text{signo } B = \text{signo} [H(R_1 - A_1) / (A_1 - B_1)]$$

La magnitud del  ngulo BETA es,

$$BETA = \cos^{-1} [\hat{r} \cdot \hat{\rho} / (|\hat{r}| |\hat{\rho}|)]$$

su signo viene dado por el signo de la componente del vector $\hat{q} \times \hat{a}$

$$\text{signo } BETA = \text{signo} [(P_1 - B_1)(A_2 - B_2) - (P_2 - B_2)(A_1 - B_1)]$$

El  ngulo GAMMA es siempre positivo y su magnitud se define como,

$$GAMMA = \tan^{-1} [((P_1 - B_1)^2 + (P_2 - B_2)^2)^{1/2} / H]$$

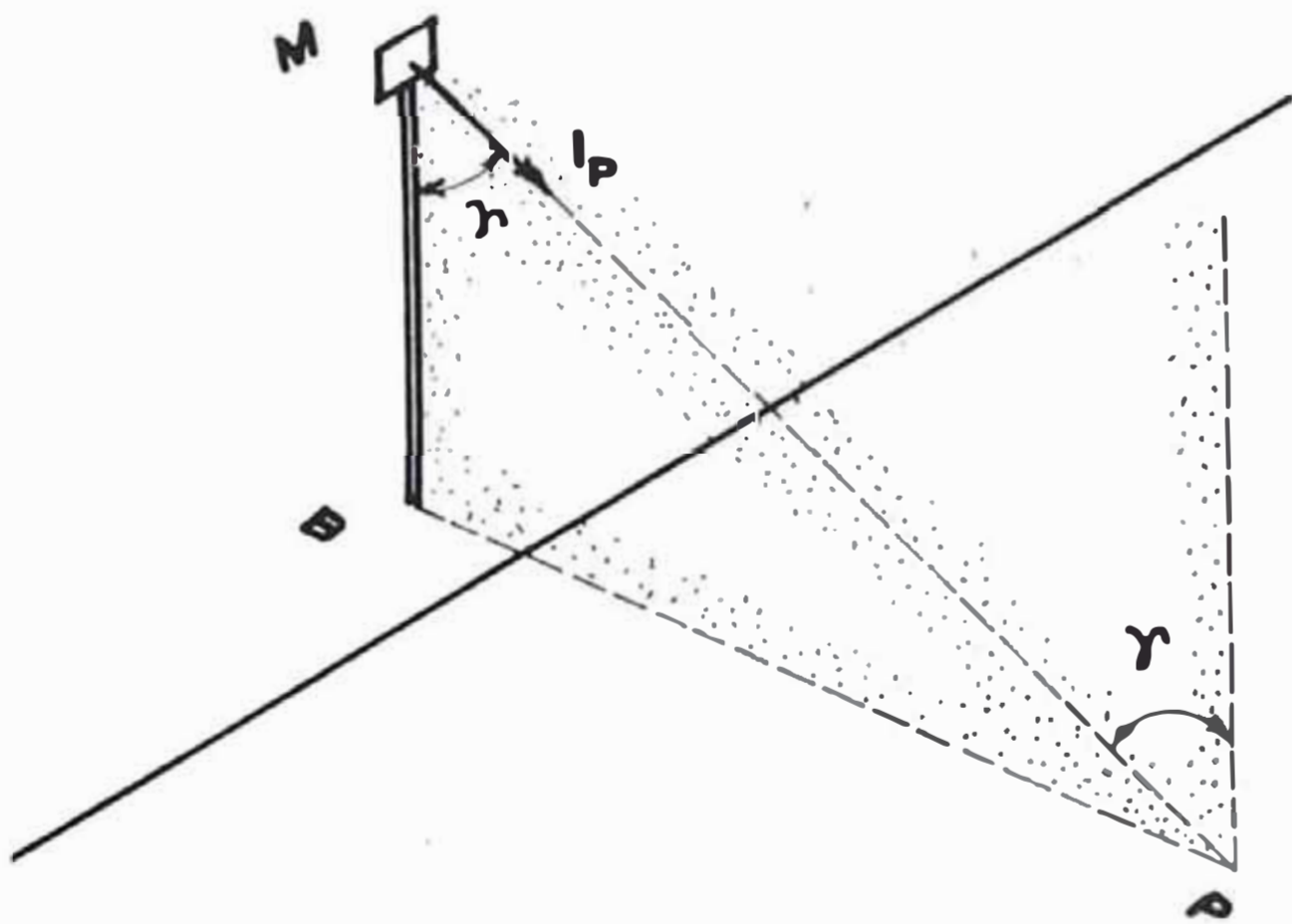


Fig. 24 El  ngulo GAMMA

3.1.2 Determinación del nivel de iluminancia

Una vez hallados los valores de B, BETA y GAMMA se evalúa la intensidad luminosa para el punto P (I_p) según lo ya expuesto, después se calcula el valor de la iluminancia horizontal en dicho punto.

$$E_p = \frac{\sum_{i=1}^3 I_{p, \cos}(\text{GAMMA})}{H^2}$$

considerando el aporte de cada reflector se obtiene,

$$E_p = \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NR(P)} \frac{I(B, \text{BETA})_{ij} \cdot \cos^3(\text{GAMMA})_{ij}}{H^2}$$

donde:

NP: Número de postes.

NR(P): Número de reflectores del poste número P.

$I(B, \text{BETA})_{ij}$: Intensidad luminosa que incide en P desde el reflector j-ésimo desde el poste i-ésimo.

GAMMA_{ij} : Angulo GAMMA de incidencia del haz luminoso desde el reflector j-ésimo del poste i-ésimo (Generalmente se considera que GAMMA solamente depende del poste i-ésimo puesto que la distancia entre reflectores en cada poste se considera despreciable).

H: Altura de montaje.

3.1.3 Determinación de la tabla de intensidad luminosa

Para hallar la matriz o arreglo de valores que definen la intensidad luminosa emitida por un reflector se procedió de la siguiente manera:

A partir del diagrama iso-candela relativo del reflector se evalúan los valores de la intensidad

luminosa para un conjunto de valores B-BETA que puedan definir con suficiente exactitud la superficie fotométrica en cuestión. En nuestro caso se han tomado generalmente valores de B y BETA desde 0° hasta 70° con un incremento de 5° , estos datos se han obtenido por interpolación gráfica.

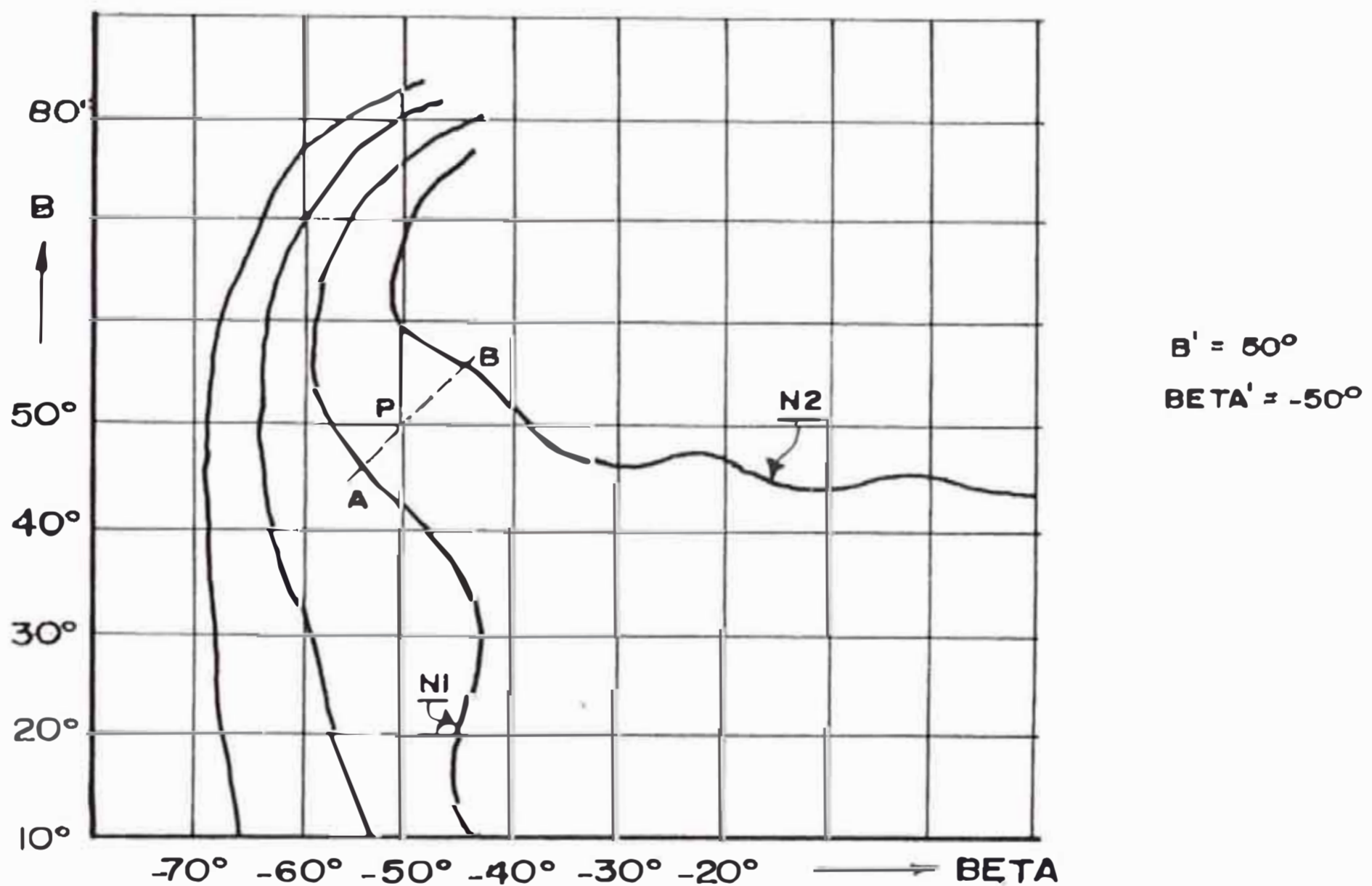


Fig 25 Interpolación gráfica de intensidad luminosa

En la gráfica el segmento AB es la mínima distancia entre dos curvas iso-candela consecutivas, como dos curvas de nivel en un plano topográfico, denominadas en el ejemplo como N1 y N2, además estas curvas pasan por el punto P. El punto P es el que corresponde a un par ordenado B'-BETA' al que deseamos hallar el valor I/I_{max} ,

El valor de $I(P)$ es igual entonces a:

$$I(P) = N1 + \frac{b}{a} \cdot (N2 - N1)$$

donde:

$I(P)$: Valor de la intensidad luminosa como porcentaje de la intensidad máxima (I/I_{max}).

$N1, N2$: Porcentaje de la intensidad luminosa máxima que corresponde a las referidas curvas isocandela.

b/a : Fracción incremental de $I(P)$ sobre $N1$.

Después de repetir este proceso para todos los valores $B-BETA$ se obtiene una tabla como la siguiente,

HNF 001 N													
B/BETA	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
70	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
65	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
60	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.006	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.009
55	0.000	0.000	0.000	0.006	0.005	0.009	0.018	0.022	0.023	0.025	0.029	0.036	0.036
50	0.000	0.000	0.000	0.007	0.009	0.016	0.022	0.030	0.034	0.035	0.042	0.042	0.042
45	0.000	0.000	0.001	0.009	0.015	0.023	0.032	0.040	0.043	0.047	0.047	0.047	0.047
40	0.003	0.003	0.007	0.015	0.024	0.033	0.042	0.049	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
35	0.005	0.005	0.009	0.019	0.029	0.041	0.050	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
30	0.004	0.004	0.009	0.019	0.033	0.042	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
25	0.005	0.005	0.009	0.020	0.033	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
20	0.004	0.004	0.009	0.019	0.034	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
15	0.005	0.005	0.010	0.020	0.034	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
10	0.004	0.004	0.008	0.018	0.034	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
5	0.004	0.004	0.008	0.018	0.034	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
0	0.005	0.005	0.010	0.020	0.034	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048

Fig 26 Tabla de valores de I/I_{max} para un reflector

Este mismo proceso se utiliza para hallar las tablas R según el tipo de calzada.

Para verificar todos los valores de la tabla se procede a calcular la cantidad de lúmenes emitidos por el reflector a partir de los datos obtenidos por interpolación de las curvas iso-candela; estos valores pasan luego a ser comparados con los lúmenes realmente emitidos que se obtienen de la hoja de datos del reflector.

Cálculo del flujo luminoso

Empezaremos calculando el flujo luminoso a partir de los datos obtenidos por interpolación partiendo de la expresión siguiente de la intensidad luminosa.

$$I = \frac{d\phi}{D \cdot dw}$$

donde:

ϕ_D : Flujo luminoso obtenido a partir de los datos obtenidos por interpolación.

luego,

$$d\phi_D = I \cdot dw$$

$$\phi_D = \int I \cdot dw$$

la integración debe efectuarse en el área de la superficie esférica a través de la cual se emite el flujo ϕ_D .

$$\phi_D = \int_S I \cdot dw$$

en el gráfico que se muestra a continuación se puede

observar el área de integración,

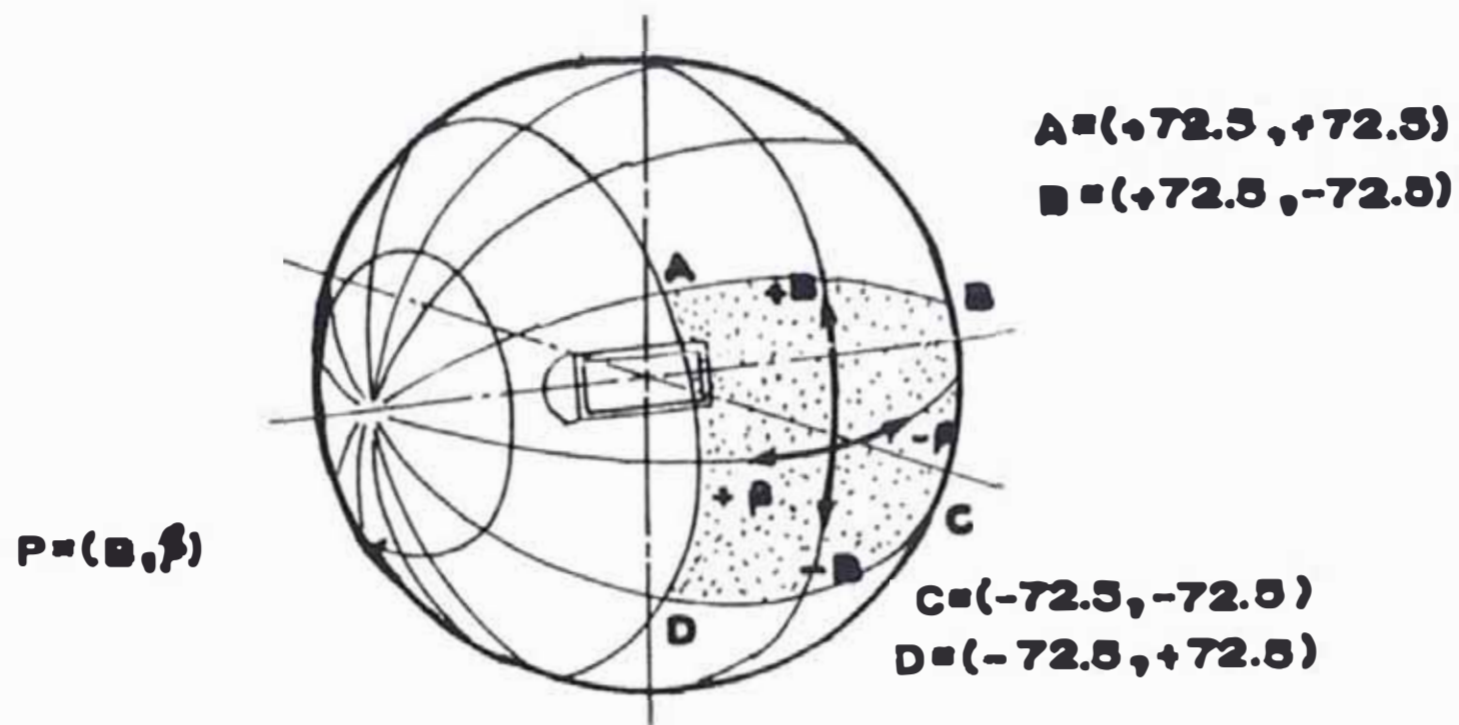


Fig. 27 Area de integración de la intensidad luminosa
 la integral de una superficie esférica se calcula como sigue,

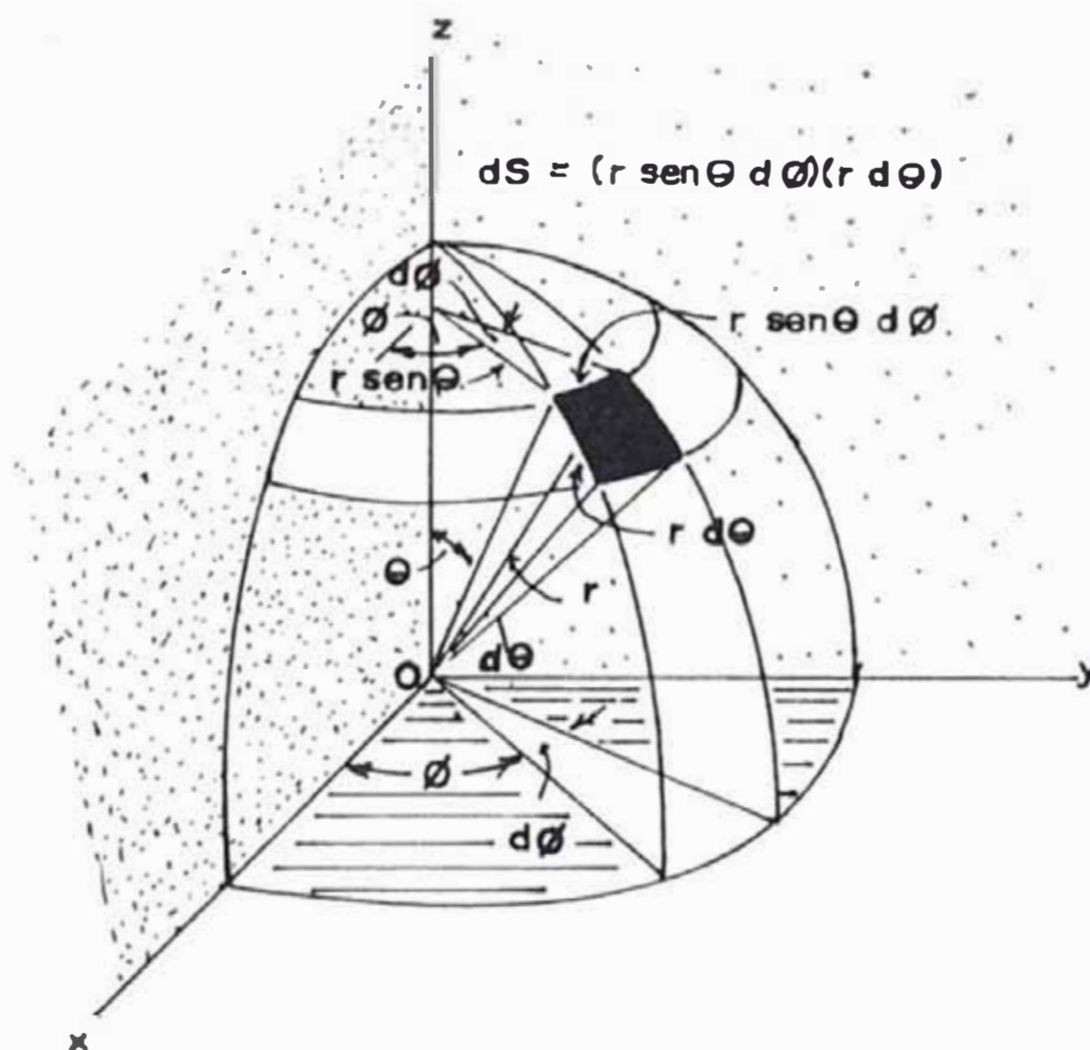


Fig. 28 Superficie esférica

$$dS = (r \cdot d\theta)(r \cdot \sin\theta \cdot d\phi)$$

$$S = \iiint r^2 \cdot \cos\theta \cdot d\theta \cdot d\phi$$

considerando los límites de integración se tiene,

$$S = r^2 \int_{-\pi/3}^{\pi/3} \int_{-\pi/3}^{\pi/3} \cos\theta \cdot d\theta \cdot d\phi$$

resolviendo la integral se obtiene lo siguiente,

$$S = \frac{2\sqrt{3} \cdot \pi}{3} r^2$$

el valor del ángulo sólido que corresponde a esta área será entonces,

$$\Omega = \frac{2\sqrt{3} \cdot \pi}{3}$$

para nuestro caso se considera realmente límites de -72.5° a 72.5° tanto para B como para BETA con la finalidad de hacer más precisos los cálculos respectivos y con el fin de usar la tabla de intensidades directamente (Tabla I/lmax).

Si dividimos este valor entre la cantidad de divisiones que tiene la grilla que hemos considerado para la integración, esto es desde -72.5° hasta 72.5° tanto para B como para BETA, se obtendría, considerando las divisiones como ángulos sólidos de 5° de lado, el valor no reflejaría lo que realmente sucede puesto que todos los elementos de la grilla no son iguales por lo que se hace necesario integrar la expresión del elemento dw para estos ángulos sólidos de 5° de lado.

En la figura 29 se muestra un elemento de la grilla

que vamos a utilizar para determinar el flujo luminoso de los datos, como podemos ver para hallar la superficie de este elemento debemos integrar la expresión,

$$S = \int_{\beta-2.5^\circ}^{\beta+2.5^\circ} \int_{\beta-2.5^\circ}^{\beta+2.5^\circ} r^2 \cos \theta \, d\theta \, d\phi$$

resolviendo se obtiene,

$$S = r^2 (\pi/18) \text{sen}(\pi/72) \cos(\beta)$$

esto quiere decir que para elemento de la grilla de la superficie esférica de 5° de lado y que tiene como centro al punto (B, BETA) el valor del ángulo sólido dependerá únicamente del valor de BETA .

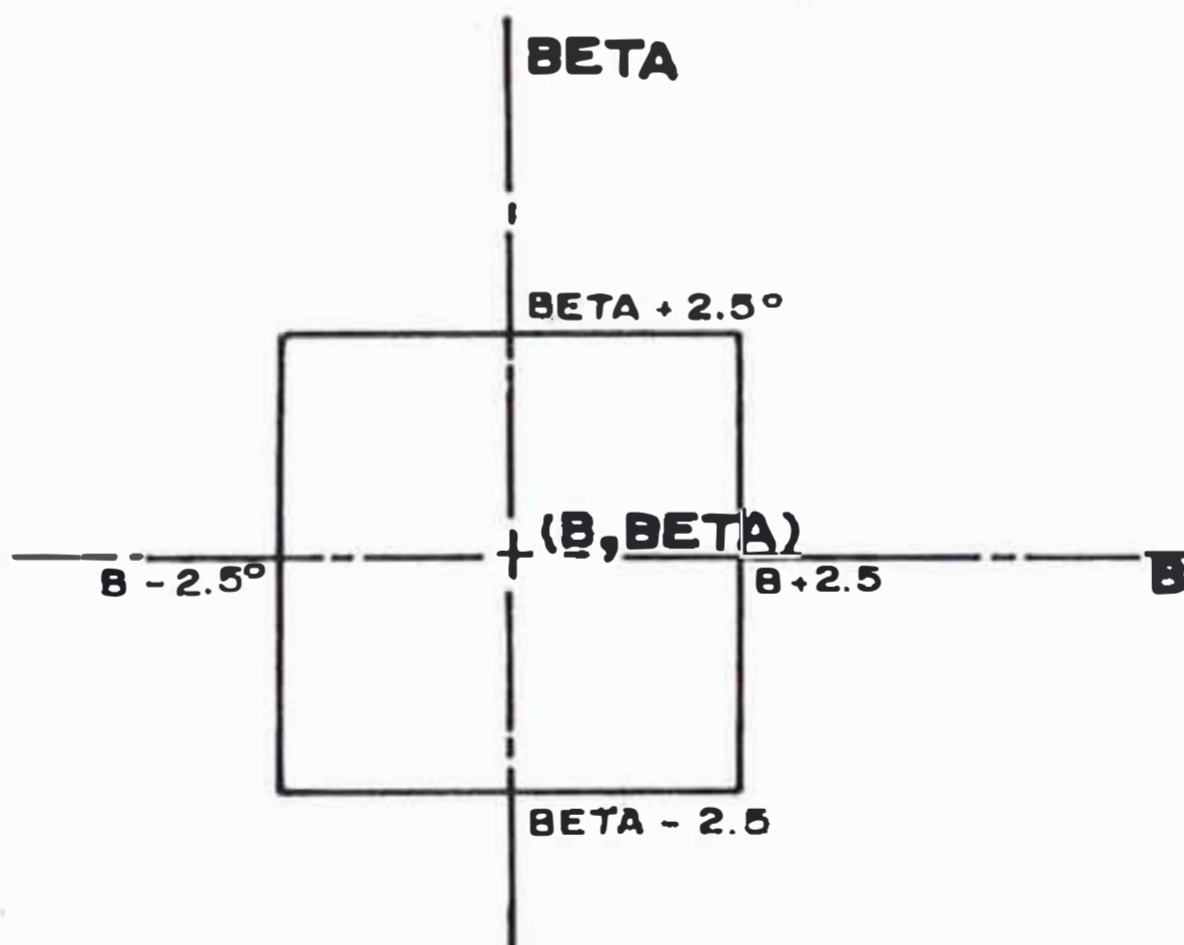


Fig. 29 Elemento de ángulo sólido

este valor será,

$$Dw = S/r^2 = 7.61302 \times 10^{-3} \cos(\beta)$$

Para cada par de valores (B, BETA) se tiene entonces un

valor para la relación I/I_{max} y otro para el elemento de ángulo sólido que le corresponde.

Así pues con estos valores se procede a evaluar la expresión del flujo luminoso ya mostrada, la que se convierte en una simple sumatoria,

$$\phi = \sum_D I * D\omega$$

Los valores de I/I_{max} se obtienen directamente de las tablas de cada reflector y cuya forma de elaboración se verifica con este método.

No hay que olvidar que el valor mostrado en las tablas de intensidad luminosa de cada reflector corresponde a la relación I/I_{max} y que para hallar el valor real de la intensidad es preciso multiplicar este valor de tablas por I_{max} que viene generalmente en $cd/1000 \text{ lum}$, se debe pues multiplicar este valor de I_{max} por el flujo luminoso emitido por la lámpara en miles de lúmenes con el fin de obtener la intensidad en candelas.

$$I_p = \frac{(I/I_{max})_p * I_{MAX} * \phi_L}{1000}$$

donde:

- I_p : Intensidad luminosa en el punto p (cd).
- $(I/I_{max})_p$: Relación entre la intensidad en p y la intensidad máxima.
- I_{MAX} : Intensidad luminosa máxima (cd/Klm).
- ϕ_L : Flujo luminoso de la lámpara (lum).

Una vez evaluado el valor del flujo luminoso que se obtienen de los datos se compara con el valor que dan los fabricantes.

$$\phi_r = \frac{\phi_L * n}{100}$$

donde:

ϕ_r : Flujo real emitido desde el reflector (lum).

ϕ_L : Flujo luminoso de la lámpara (lum).

n : Rendimiento del haz (%)

El rendimiento de los datos, esto es la comparación de los flujos luminosos tanto el obtenido a partir de las curvas iso-candela como el dado por el fabricante, queda definido así,

$$n_D = \frac{10 * (\sum I.D_w) * I_{MAX}}{n}$$

donde:

n_D : Rendimiento del flujo de los datos con respecto al flujo luminoso real emitido por el reflector.

$\sum I.D_w$: Flujo luminoso de los datos como fracción de la intensidad máxima.

I_{MAX} : Intensidad máxima (cd/1000 lm).

n : Rendimiento del haz luminoso (%).

la expresión mostrada es la comparación de ϕ_r y ϕ_D , los datos que se han obtenido de las curvas iso-candela serán más precisas a medida que la eficiencia que resulta de evaluar la expresión anterior se acerca al 100%.

3.2 Secuencia de cálculo de parámetros

Antes de iniciar la secuencia de cálculo de los parámetros que se toman en cuenta para el programa vamos a presentar algunos conceptos que son importantes para la comprensión del mismo y que tiene que ver más con la geometría del área a iluminar.

3.2.1 Determinación de los puntos para el cálculo

A partir del área a iluminar se determina una poligonal cerrada fijando para esto los puntos que puedan aproximar mejor esta área. Después de determinados estos puntos se procede a enmarcarlos en un sistema de ejes coordenados XY , de manera que los puntos $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ que definen la poligonal tengan sus respectivos pares ordenados.

Para determinar la grilla y sus elementos es necesario determinar la dimensión que los elementos de la grilla van a tener tanto para el eje X como para el eje Y , este valor nos da una idea de la precisión que queremos dar al cálculo de nivel de luminancia y de la iluminación que se va a desarrollar.

Es preciso antes de comenzar a evaluar los diferentes elementos de la grilla, determinar los contornos del área, es decir, circunscribir un rectángulo a la poligonal cuyos lados sean paralelos a los ejes XY . Esto se logra hallando los valores máximos y mínimos de las componentes en X e Y de los puntos $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$.

Entonces podemos decir que los contornos del área son:

$$X_{\max} = \max(X_{p1}, X_{p2}, X_{p3}, \dots, X_{pn})$$

$$X_{\min} = \min(X_{p1}, X_{p2}, X_{p3}, \dots, X_{pn})$$

análogamente se calcula Y_{\max} e Y_{\min} ,

$$Y_{\max} = \max(Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}, \dots, Y_{pn})$$

$$Y_{\min} = \min(Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}, \dots, Y_{pn})$$

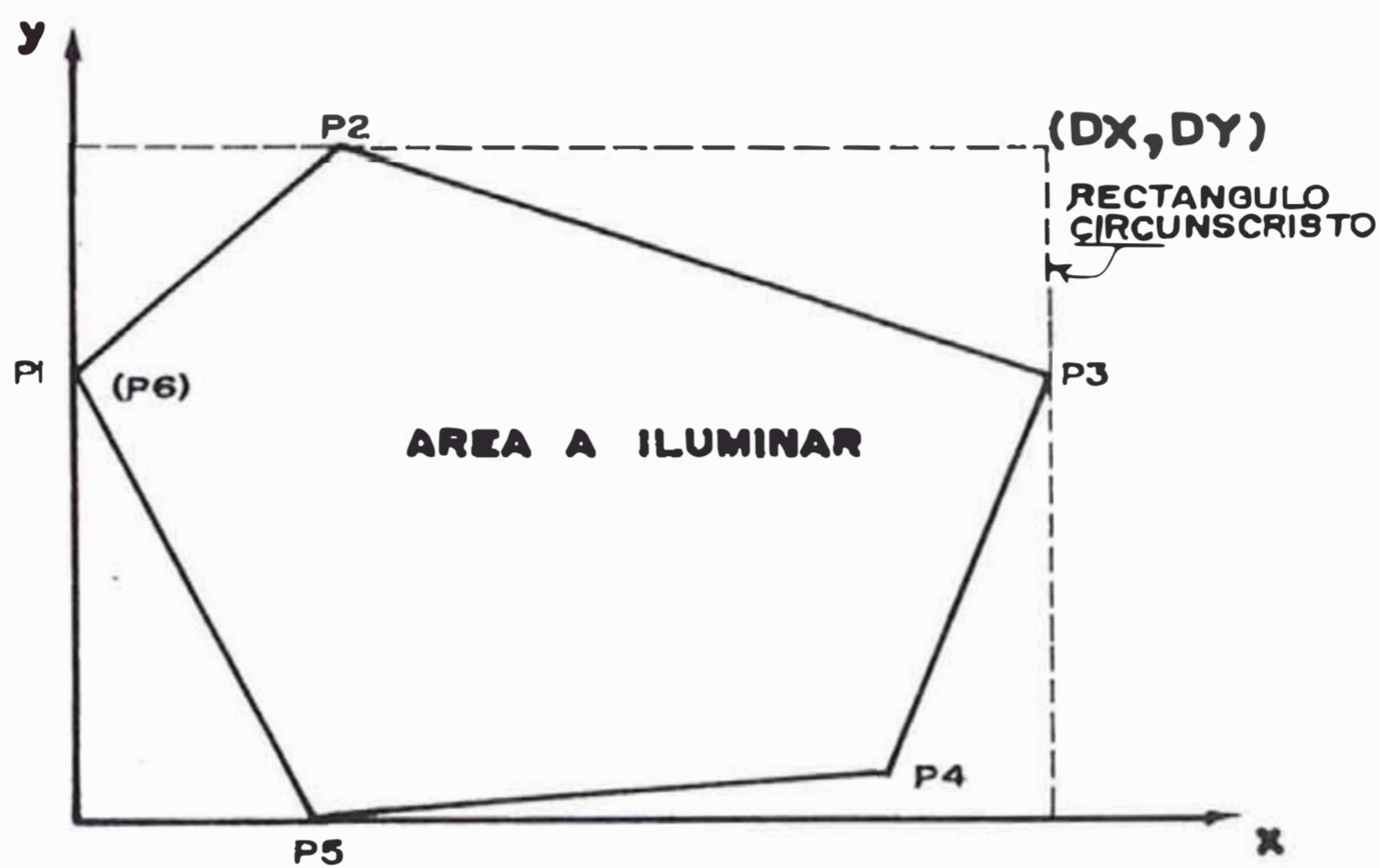


Fig. 30 Distribución del área a iluminar

Del mismo modo los lados del rectángulo circunscrito serán DX y DY en las direcciones X e Y respectivamente y se expresan así,

$$DX = X_{\max} - X_{\min}$$

$$DY = Y_{\max} - Y_{\min}$$

considerando que el número de elementos en la dirección X e Y son RZX y RZY respectivamente, considerando además que el tamaño de cada elemento sea IX e IY se tiene,

$$RZX = \text{Entero}(DX/IX+1)$$

$$RZY = \text{Entero}(DY/IY+1)$$

donde la función entero es el valor de la parte entera del argumento de la misma.

Cada elemento de la grilla tiene su posición en el área del rectángulo circunscrito y tiene un punto central en el que se va a evaluar los demás parámetros (si es que esta dentro del área a iluminar) las coordenadas de este punto serán (AX, AY) .

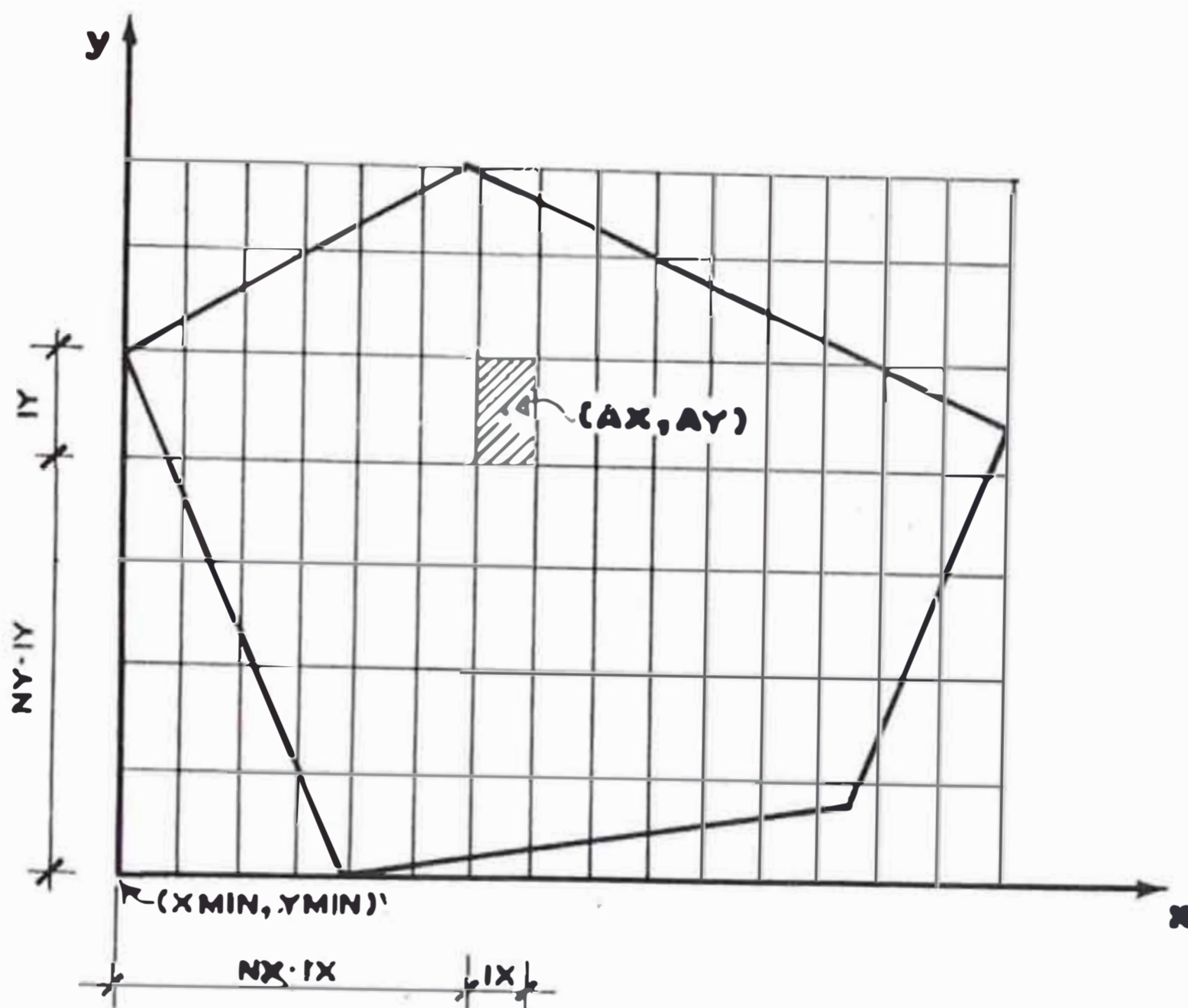


Fig. 31 Ubicación de un elemento de grilla

Cada punto (AX, AY) se determina, de acuerdo a la figura 31, de la siguiente manera,

$$AX = IX/2 + NX * IX + Xmin$$

$$AY = IY/2 + NY * IY + Ymin$$

Para determinar si un par (AX, AY) se halla dentro de la poligonal cerrada se procede de la forma que presentamos a continuación.

Se determinan dos poligonales abiertas a partir de la poligonal cerrada inicial, se evalúa entre que puntos de la poligonal superior se halla el punto AX (en el gráfico entre P_2 y P_3), luego se determina el valor $MAXY$ que esta en la recta que une los puntos hallados de la poligonal superior (P_2 y P_3) y cuya abscisa es AX .

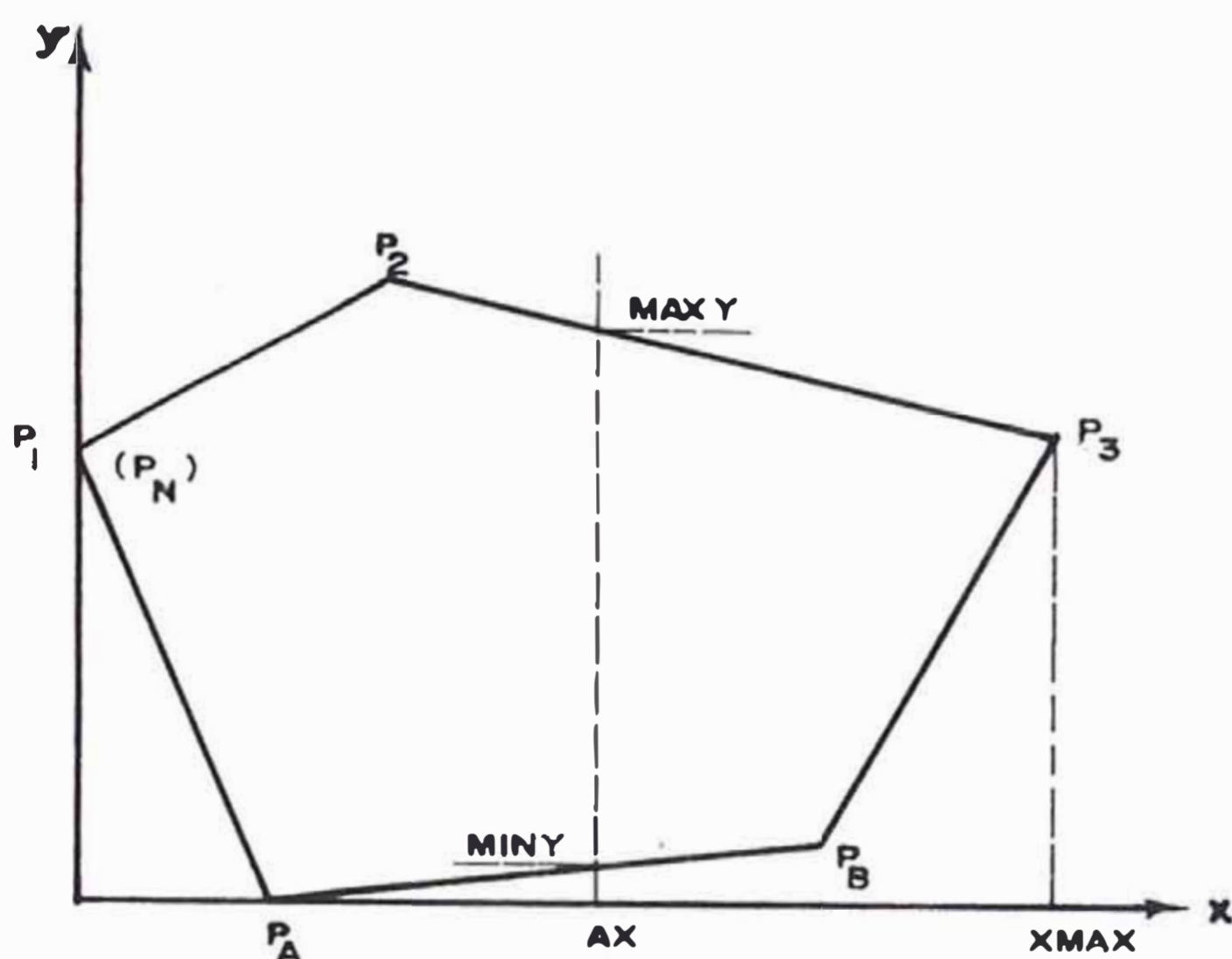


Fig. 32 La poligonal superior e inferior

Igualmente se hallan los puntos de la poligonal inferior entre cuyas abscisas se halla el valor AX (P_A y P_B en la figura 32) determinándose el valor de $MINY$ que pertenece a la recta que une los puntos hallados (P_A y P_B) para la abscisa AX .

Una vez determinados $MAXY$ y $MINY$ se evalúa si la ordenada del punto analizado AY , se halla entre estos valores; en caso afirmativo el punto (AX, AY) pertenece al

área a iluminar y es sujeto a los cálculos a efectuarse si no está entre $MAXY$ y $MINY$ entonces no es sujeto a cálculo porque no se halla dentro del área a iluminar.

3.2.2 Coordenadas referidas al observador

Esta parte se refiere a la utilización de las curvas iso-luminancia, también conocidas como las curvas $iso-cd/m^2$ para intensidad constante. En la figura 20 se muestra esta curva considerando una posición dada del observador, vemos que el valor de la tabla R para el cálculo de la luminancia esta en función de la posición del observador y de la dirección de la visual que dirige en el área iluminada. Para poder utilizar la tabla R es pues necesario determinar un sistema de ejes coordenados que tengan en cuenta tanto su posición como la dirección de su visual, la cual viene definida por la ubicación de la luminaria.

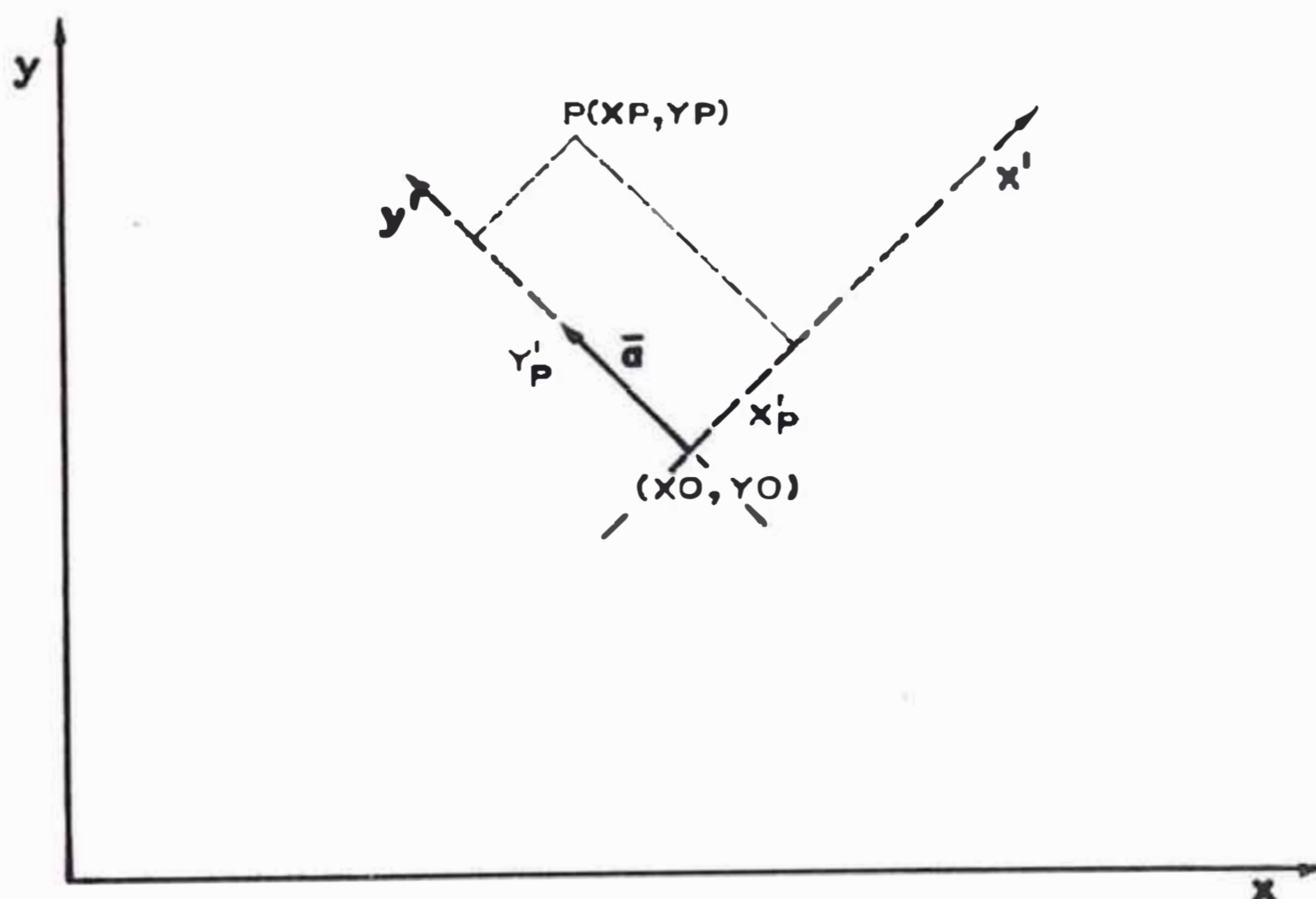


Fig.33 Vista en planta de la posición del observador

Si consideramos el plano definido por los ejes coordenados $X\bar{Y}$ como el área a iluminar y en la cual se halla el observador en la posición P_{obs} y cuya visual se extiende en la dirección del vector \bar{a} y definiendo los ejes coordenados $X'Y'$ se tiene la siguiente expresión para la transformación de un sistema de ejes a otro,

$$X'p = \frac{a_2(Xp - X_0) - a_1(Yp - Y_0)}{|\bar{a}|}$$

$$Y'p = \frac{a_1(Xp - X_0) + a_2(Yp - Y_0)}{|\bar{a}|}$$

donde:

- $(X'p, Y'p)$: Coordenadas del punto P en $X'Y'$.
 (Xp, Yp) : Coordenadas del punto P en $X\bar{Y}$.
 (X_0, Y_0) : Coordenadas de la luminaria en $X\bar{Y}$.
 (a_1, a_2) : Componentes de vector \bar{a} .
 $|\bar{a}|$: Módulo del vector \bar{a} .

3.2.3 Determinación de la luminancia

La luminancia en un punto es entonces,

$$L_p = \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NR(P)} \frac{I(B, BETA)_{ij} \cdot R(\beta, \Gamma)_{ij}}{H^2}$$

donde:

- NP : Número de postes de la instalación.
 $NR(P)$: Número de reflectores para el poste P.
 $I(B, BETA)_{ij}$: Intensidad luminosa que incide en P

desde el poste i -ésimo y desde el reflector j -ésimo.

$R(\beta, \Gamma)_{ijp}$: Valor de $(q \cdot \cos \Gamma)^3$ que depende de la posición del observador y de la posición del poste i -ésimo del reflector j -ésimo.

H : Altura de montaje.

3.2.4 Determinación de la iluminancia en el ojo del observador

Para hallar el valor de la luminancia de velo se consideró la iluminancia que incidía en el ojo del observador a partir de un reflector y en un plano perpendicular a la línea de visión que en la figura se representa por el módulo del vector Q .

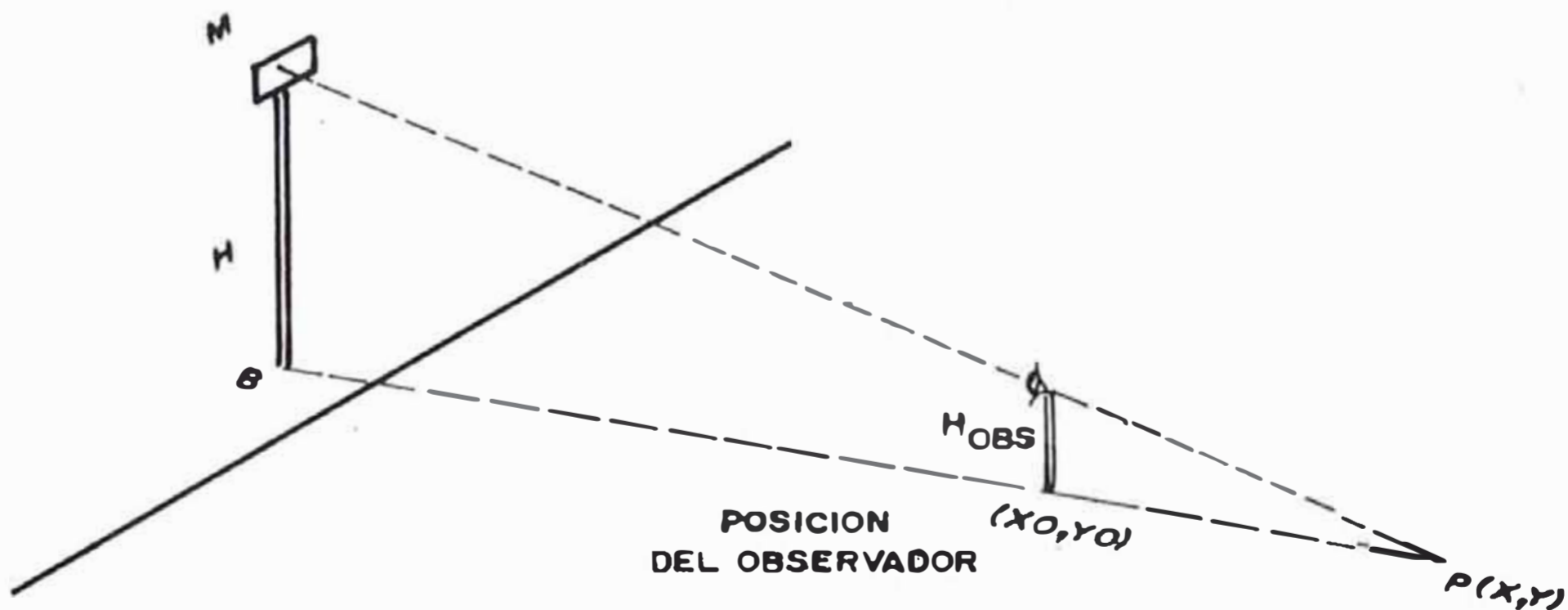


Fig. 34 Esquema de la ubicación del observador

A partir de la expresión siguiente,

$$E_{ojo} = \frac{(I_{x_{ojo}})_{ij}}{|Q|^2}$$

vemos que el término que debemos evaluar es $I_{x_{ojo}}$, el que se calcula con ayuda de la figura 34 en la que se puede apreciar que el valor $I_{x_{ojo}}$ es la intensidad luminosa en el punto de intersección de la línea visual y el plano del área a iluminar.

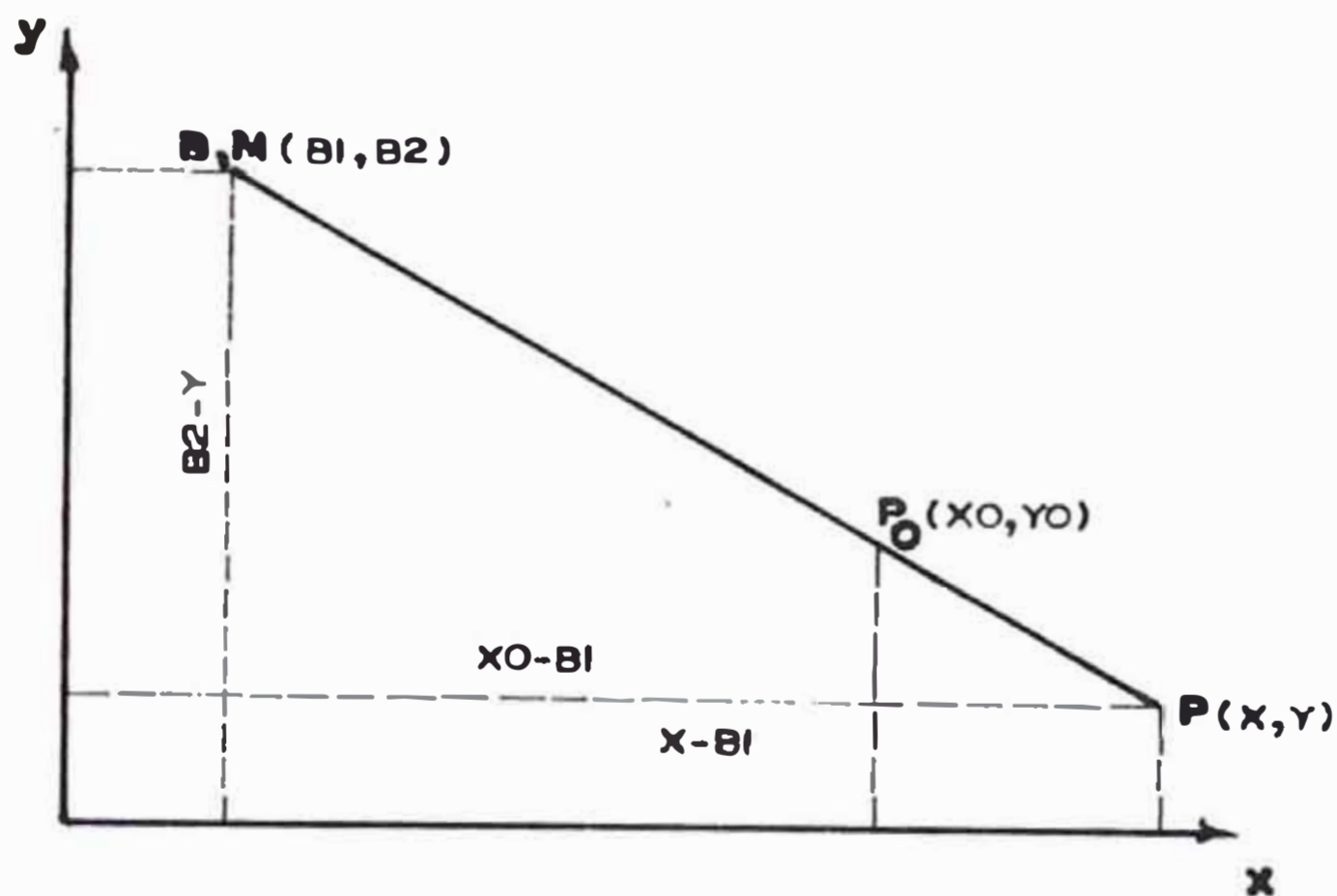


Fig. 35 Vista en planta de la posición del observador

De lo que se desprenden las siguientes expresiones,

$$\frac{H}{H_{obs}} = \frac{P-B}{P-P_0}$$

además,

$$\frac{P-B}{X-B_1} = \frac{P-P_0}{X-X_0} : \frac{P-B}{B_2-Y} = \frac{P-P_0}{Y_0-Y}$$

de donde,

$$\frac{H}{\text{Hobs}} = \frac{X-B1}{X-Xo} = \frac{B2-Y}{Yo-Y}$$

luego,

$$H(X-Xo) = \text{Hobs} \cdot (X-B1)$$

$$X(H-\text{Hobs}) = H \cdot Xo - \text{Hobs} \cdot B1$$

$$X = \frac{H \cdot Xo - \text{Hobs} \cdot B1}{H - \text{Hobs}}$$

de la misma forma tenemos para Y,

$$Y = \frac{H \cdot Yo - \text{Hobs} \cdot B2}{H - \text{Hobs}}$$

3.2.5 Secuencia de cálculo en el programa

Los cálculos en el programa van desarrollándose de la siguiente manera:

1. Se ingresan los datos de la instalación tales como,
 - Características del reflector,
 - Características de la calzada,
 - Datos del área a iluminar,
 - Datos acerca del número de postes y reflectores,
 - Datos referentes al observador.
2. Se determinan los parámetros del área a iluminar,
 - Se calculan los puntos sujetos a cálculo,
 - Se calculan los valores R para cada punto evaluado en el punto anterior y que se hallen dentro de la capacidad visual del observador,
 - Se calculan los valores de I, E y L para cada punto

debido a cada uno de los reflectores,

- Se van acumulando los valores E y L de cada uno de los reflectores a fin de obtener los E y L totales en cada punto,
- Se evalúa el promedio de E y L a partir de los totales de cada punto los que serán los valores E y L promedio para el área iluminada.
- Se determinan los valores máximos y mínimos de E y L,
- Se puede opcionalmente calcular la luminancia de velo producida por los reflectores y calcular los valores máximos, mínimos y promedios.

3. Después de realizados los cálculos se procede a imprimir los resultados acompañados de los datos iniciales.

3.3 Algoritmo

Para una mejor visión de lo expuesto en el punto anterior presentamos el algoritmo de cálculo del programa de iluminación desarrollado, en él se han detallado los puntos más importantes con el fin de que sirva para la elaboración de un programa en cualquier lenguaje de computación.

A continuación se presenta el algoritmo desarrollado para el efecto en la figura 36.

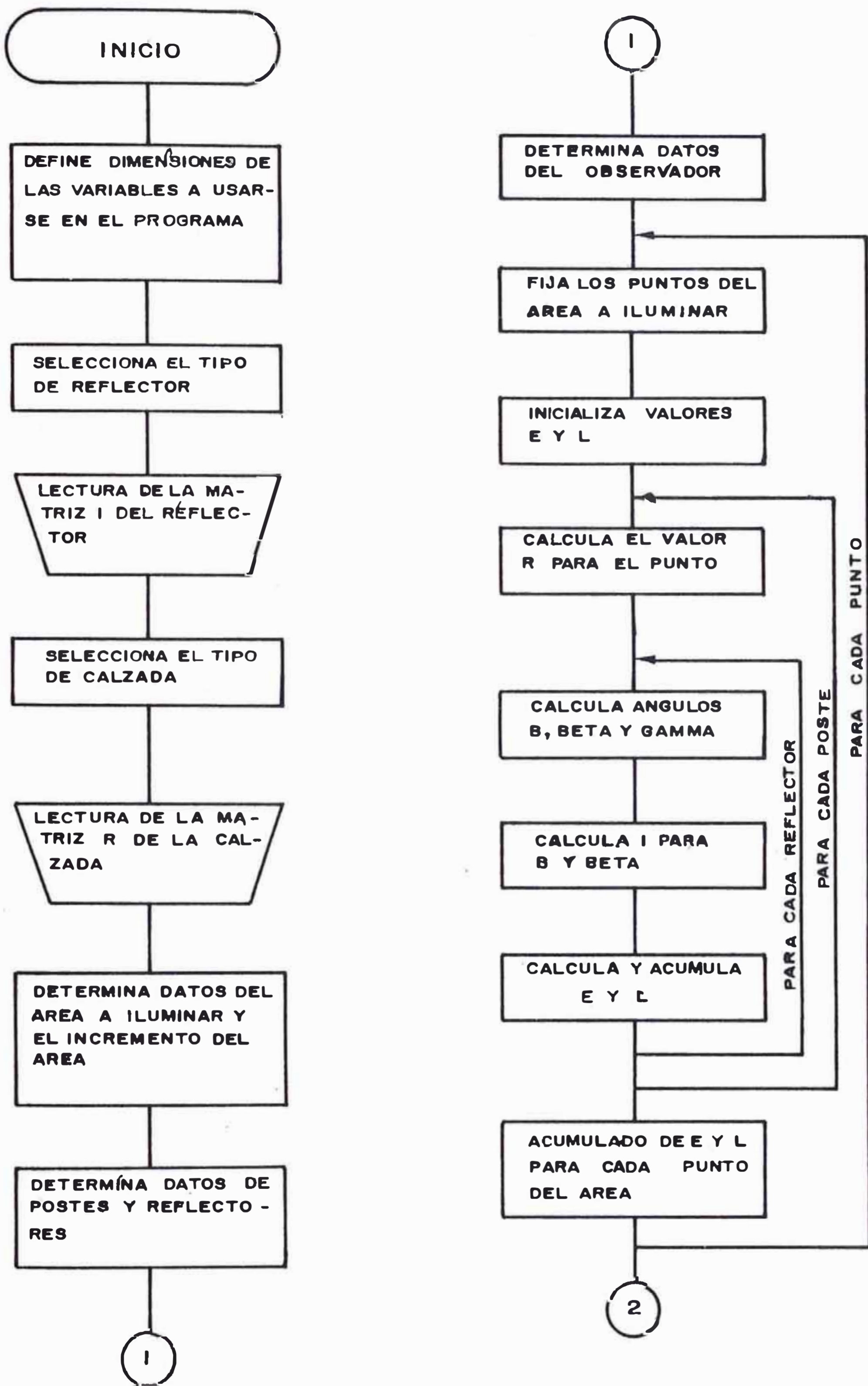


Fig. 36 Algoritmo del programa

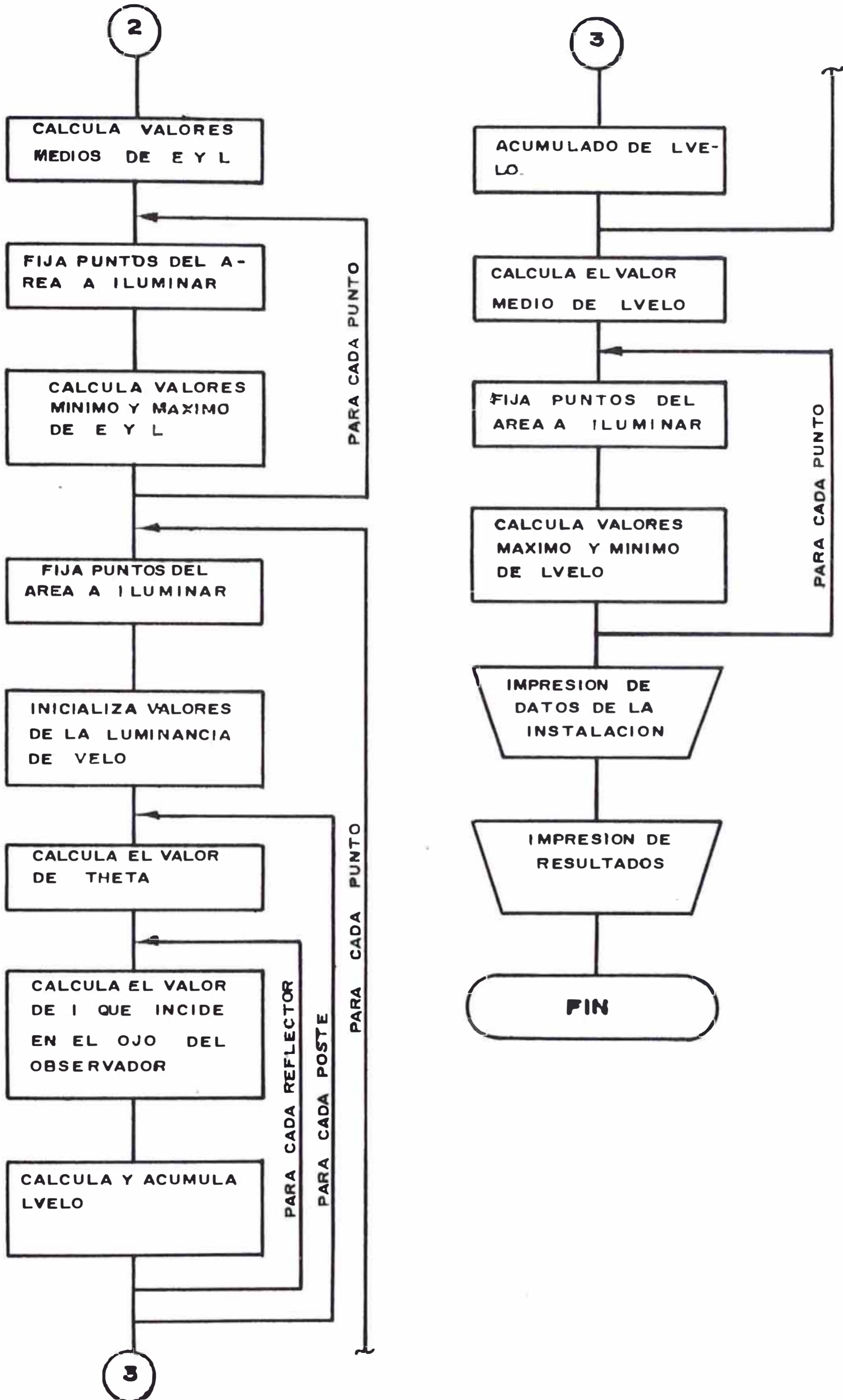


Fig. 36 Algoritmo del programa (continuación)

3.4 Explicación de las variables del programa

En esta parte explicaremos el significado de las variables más importantes del programa en el orden que vayan apareciendo. Se consideran las variables tanto del programa principal como de las subrutinas.

- $X(I), Y(I)$: Coordenadas de los puntos que determinan el área a iluminar (I se refiere al número de punto).
- IX, IY : Incrementos en X y Y que determinan las dimensiones del elemento de la grilla en que se divide el área a iluminar.
- $NP, KP(I)$: Número de postes y número de reflectores para el poste I.
- $XP(I), YP(I)$: Coordenadas del poste I.
- $XT(I, J), YT(I, J)$: Coordenadas del punto de incidencia del haz máximo del reflector j-ésimo ubicado en el poste i-ésimo.
- H : Altura de montaje.
- XO, YO : Coordenadas de la posición del observador.
- AOX, AOY : Componentes del vector de la dirección visual del observador.
- $H0$: Estatura del observador.
- MX, MY : Valores máximos de abscisas y ordenadas de

los puntos $X(I)$ e $Y(I)$ que determinan el área a iluminar.

MINX,MINY : Valores mínimos de abscisas y ordenadas de los puntos $X(I)$ e $Y(I)$ que determinan el área a iluminar.

RZX,RZY : Determina el número de elementos de grilla que contiene el rectángulo circunscrito al área a iluminar en la dirección X e Y respectivamente.

MAX : Es el número de punto de la poligonal que define el área a iluminar en el que se verifica la abscisa máxima.

NRL,NRE : Contador de los puntos sujetos a cálculo en donde se evalúan la luminancia (L) y la iluminancia (E) respectivamente.

SUML,SUME : Acumulador de los valores L y E respectivamente, se usa para calcular después la luminancia y la iluminancia medias.

AX(JK),AY(JL):Coordenadas del punto central del elemento de grilla que se encuentra a JK espacios según el eje X, y JL espacios según el eje Y.

XPP,YPP : Coordenadas del punto (AX(JK),AY(JL)) con

referencia al sistema de coordenadas definidas por el punto (X_0, Y_0) de la posición del observador y en la dirección definida por el vector dirección visual (A_0X, A_0Y) . Este valor se refiere a X'_p e Y'_p de la parte teórica. Los valores están multiplicados por $(8/H)$ para poder adaptarlos a los datos que se dan para definir la tabla R.

RXX, IXX : Valores de R e I obtenidos a partir de valores dados a XPP e YPP en el caso de RXX y de B y BETA para el caso de IXX.

E(JK, JL), L(JK, JL): Valores de iluminancia y luminancia en el punto $(AX(JK), AY(JL))$ del área a iluminar.

EMED, LMED : Media aritmética de la iluminancia y de la luminancia respectivamente, calculada para el área a iluminar.

EMIN, LMIN : Valor mínimo de la iluminancia y de la luminancia respectivamente, calculada para el área a iluminar.

EMAX, LMAX : Valor máximo de la iluminancia y de la luminancia respectivamente, calculada para el área a iluminar.

NRLVELO : Contador del número de puntos sujetos

cálculo en donde se evalúa la luminancia de velo.

SLVELÜ : Acumulador de los valores de luminancia de velo de cada punto a fin de calcular la luminancia de velo media.

LVELÜ(JK,JL): Valores de luminancia de velo en el punto (AX(JK),AY(JL)) del área a iluminar.

LVELÜMED : Media aritmética de la luminancia de velo en el área a iluminar.

LVELÜMIN : Valor mínimo de la luminancia de velo en el área a iluminar.

LVELÜMAX : Valor máximo de la luminancia de velo en el área a iluminar.

Explicaremos el significado de las variables más importantes que se presentan en las subrutinas del programa.

SUBROUTINA AREA:

RRX,RRY : Coordinadas del punto R que determina los ángulos B y BETA.

RPM : Producto escalar de los vectores \hat{r} y $(\hat{r} \cdot \hat{m})$.

RPP : Producto escalar de los vectores \hat{r} y $(\hat{r} \cdot \hat{p})$.

- BCOS : Coseno del ángulo B.
- RCMN : Valor de la expresión del cociente de componentes respectivos de los vectores $(\hat{r} \times \hat{m})$ y \hat{n} que da el signo a B.
- BETCOS : Coseno del ángulo BETA.
- QPA : Componente del producto vectorial $(\hat{q} \times \hat{a})$ que da el signo a BETA.

3.5 Desarrollo del programa

El programa consta de cuatro partes importantes las que son:

1. El programa principal.
2. Las subrutinas,
3. Los datos, y
4. Los resultados.

El programa principal:

El programa principal sigue el orden establecido en el algoritmo que hemos presentado y que se puede resumir en:

- Cálculo de los valores R para cada punto
- Cálculo de E y L para cada punto así como los promedios de los mismos.
- Cálculo de los valores máximos y mínimos de E y L.
- Cálculo de la luminancia de velo para cada punto y los promedios de los mismos.

-Cálculo de los valores máximos y mínimos de la luminancia de velo.

Las subrutinas

Existen en el programa seis subrutinas, las cuales se explican a continuación.

Subrutina Area:

Esta subrutina fija los valores máximos y mínimos de las abscisas $AX(JK)$ de manera que si el valor $A\bar{Y}(JL)$ se halla entre estos valores se considera al punto $(AX(JK), A\bar{Y}(JL))$ dentro del perímetro del área a iluminar.

Subrutina A:

Calcula las magnitudes y signos de los ángulos B y $BETA$ a partir de los puntos $(AX(JK), A\bar{Y}(JL))$ de la posición del reflector y del punto en que incide el haz máximo.

Subrutina B:

Fija los valores entre los cuales se halla un par de variables para que posteriormente sirvan para determinar por interpolación un tercer valor.

Subrutina C:

Fija el tercer valor que servirá para calcular los coeficientes de la ecuación cuadrática que determina los valores de l .

Subrutina D:

Fija los coeficientes de las ecuaciones cuadráticas para calcular los valores de l o de R a partir de tres

valores por cada una de las dos variables (B y BETA o XPP e YPP) de las que dependen estas variables.

Subrutina E:

Fija el tercer valor que servirá para calcular los coeficientes de la ecuación cuadrática que determinan los valores de R.

El listado del programa aparece en el Apéndice.

4.0

DISEÑO DE ILUMINACION DEL PATIO DE MANIOBRAS DE LA PLANTA

Como una demostración de la aplicabilidad del programa se ha considerado la iluminación de la Planta Villa de la Empresa Nacional de Transporte Urbano del Perú S.A. (ENATRU PERU S.A.).

Se escogió esta planta por las siguientes razones: por la función que desempeña, por la calidad de la calzada y por la extensión de la misma. Existe también la posibilidad de efectuar el cálculo de iluminación perimétrica.

4.1 Descripción de la planta

La planta Villa de Enatru Perú S.A. tiene un área de 146.690 y un perímetro de 1.660 m. Se encuentra ubicada en el distrito de Chorrillos en la prolongación de la avenida Huaylas en la antigua Panamericana Sur. Parte de este terreno está destinado al Órgano Central que corresponde a la dirección de la empresa y viene constituida por la Presidencia del Directorio, la Gerencia General y las otras gerencias como son la Gerencia de Operaciones, la Gerencia Administrativa, la Gerencia de Recursos Humanos. La Gerencia de Mantenimiento se encuentra ubicada en el Taller Central en el Cercado de Lima.

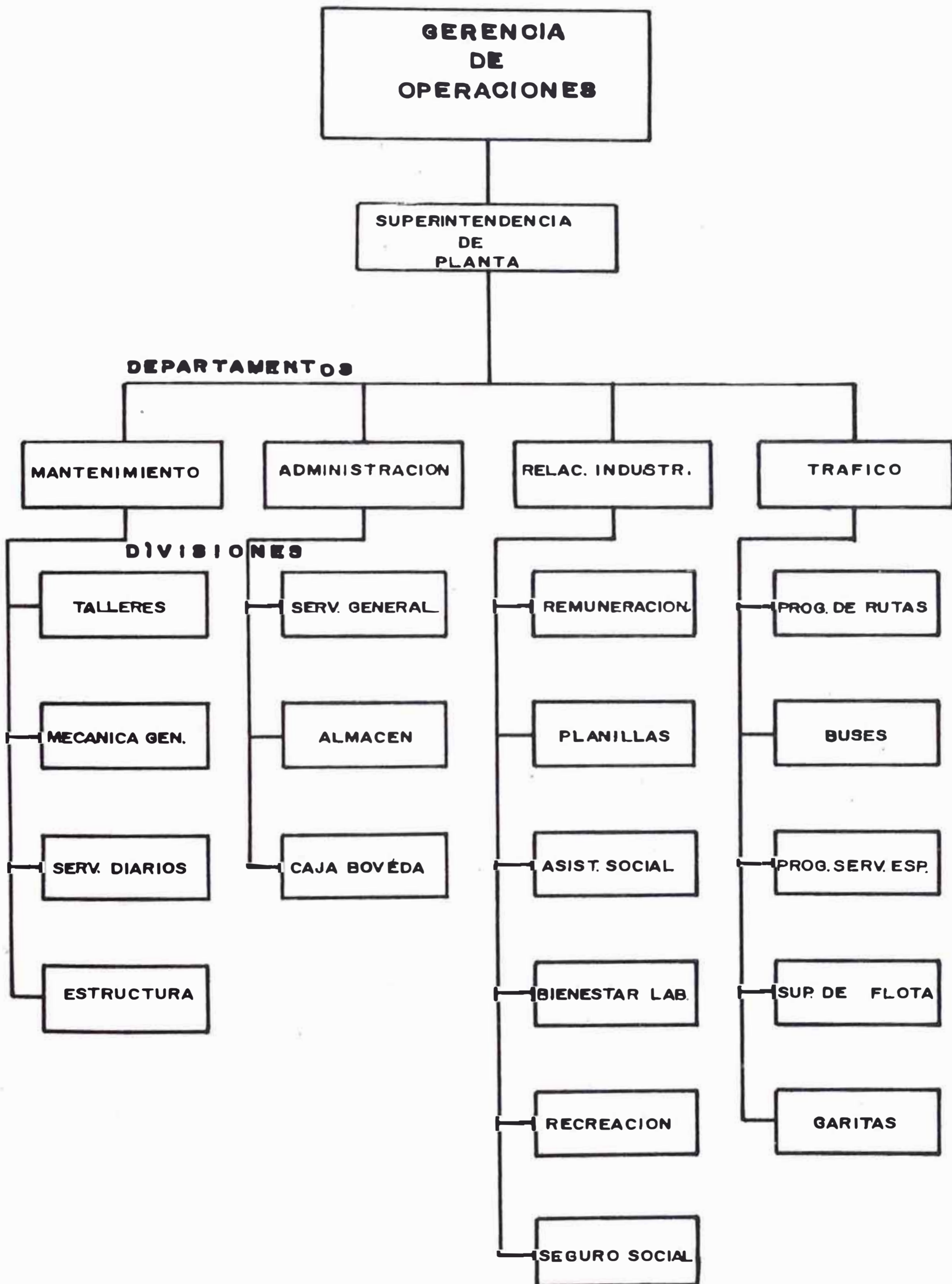
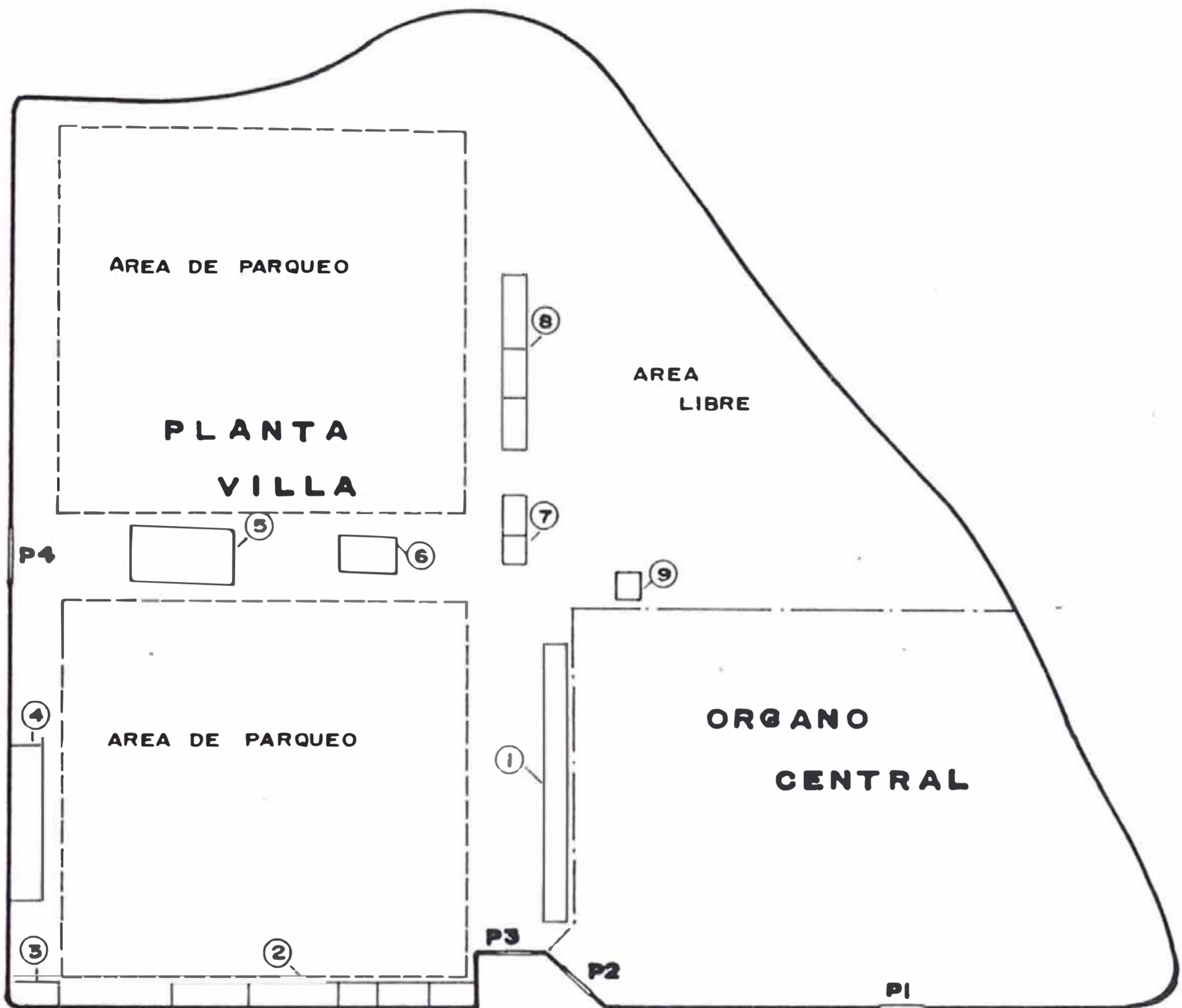


Fig 37. Organigrama de la empresa



① **SUPERINTENDENCIA**
Relaciones Industriales
Tráfico
Mantenimiento

② **TALLERES**
Carpintería
Pintura
Componentes Mecánicos
Zanjos de Montamiento

③ **Zona de Enlante**

④ **Almacén**

⑤ **Servicios diarios y**
Mecánica General

⑥ **Zona de lavado**

⑦ **Subestación Eléctrica**
Servicios Generales

⑧ **TALLERES**
Reparaciones Eléctricas
Prensas (Estructuras)
Soldadoras (Estructuras)

⑨ **Electricidad**

Fig. 38 Distribución del área de la planta

El resto del área es propiamente la de la Planta Villa la que orgánicamente se encuentra conformada de acuerdo a lo que se especifica en la figura 37. De este organigrama la Gerencia de Operaciones se encuentra como dijimos en el Organo Central, la superintendencia y los departamentos a su cargo se hallan en la planta.

En la figura 38 se puede apreciar la distribución del área que corresponde a cada departamento y a las funciones que desempeñan. A partir de este esquema se pueden fijar las pautas que deben tenerse en cuenta para lograr una correcta iluminación.

4.2 Definición de las áreas a iluminar

De acuerdo a las características que debe cumplir el alumbrado de áreas grandes y dadas las condiciones de utilización del área de la planta se definen hasta tres tipos de áreas en los que se efectuará la iluminación de acuerdo a lo estudiado. De estas áreas solamente consideraremos las áreas de parqueo y perimetral cuyas características pueden evaluarse de acuerdo a la figura 39 que se muestra.

A partir de la definición que hemos hecho debemos determinar el nivel de iluminación que se requerirá para cada uno de los casos que hemos considerado.

4.3 Determinación del nivel de iluminancia

El nivel de iluminancia que se requiere para la iluminación del patio de maniobras y parqueo de las

unidades es de 25 lux según lo recomendado por las normas españolas, por otro lado el manual de la Westinghouse fija un nivel de iluminación de unos 50 lux, el manual de luminotecnica de USRAM por su parte recomienda un nivel de iluminación de 20 y 10 lux para aparcamientos vigilados y no vigilados respectivamente.

Vamos a considerar para este caso un nivel de iluminación de al menos 50 lux.

Para el caso de la iluminación perimétrica el manual de luminotecnica de la Westinghouse recomienda un nivel de iluminancia mínimo de 10 lux, en nuestro caso tomaremos como parámetro de diseño 35 lux.

Antes de seguir adelante es preciso tener algunos conceptos sobre los parámetros que se emplean en la práctica para definir una característica de iluminación, a continuación se definen algunos de estos parámetros:

La relación de uniformidad

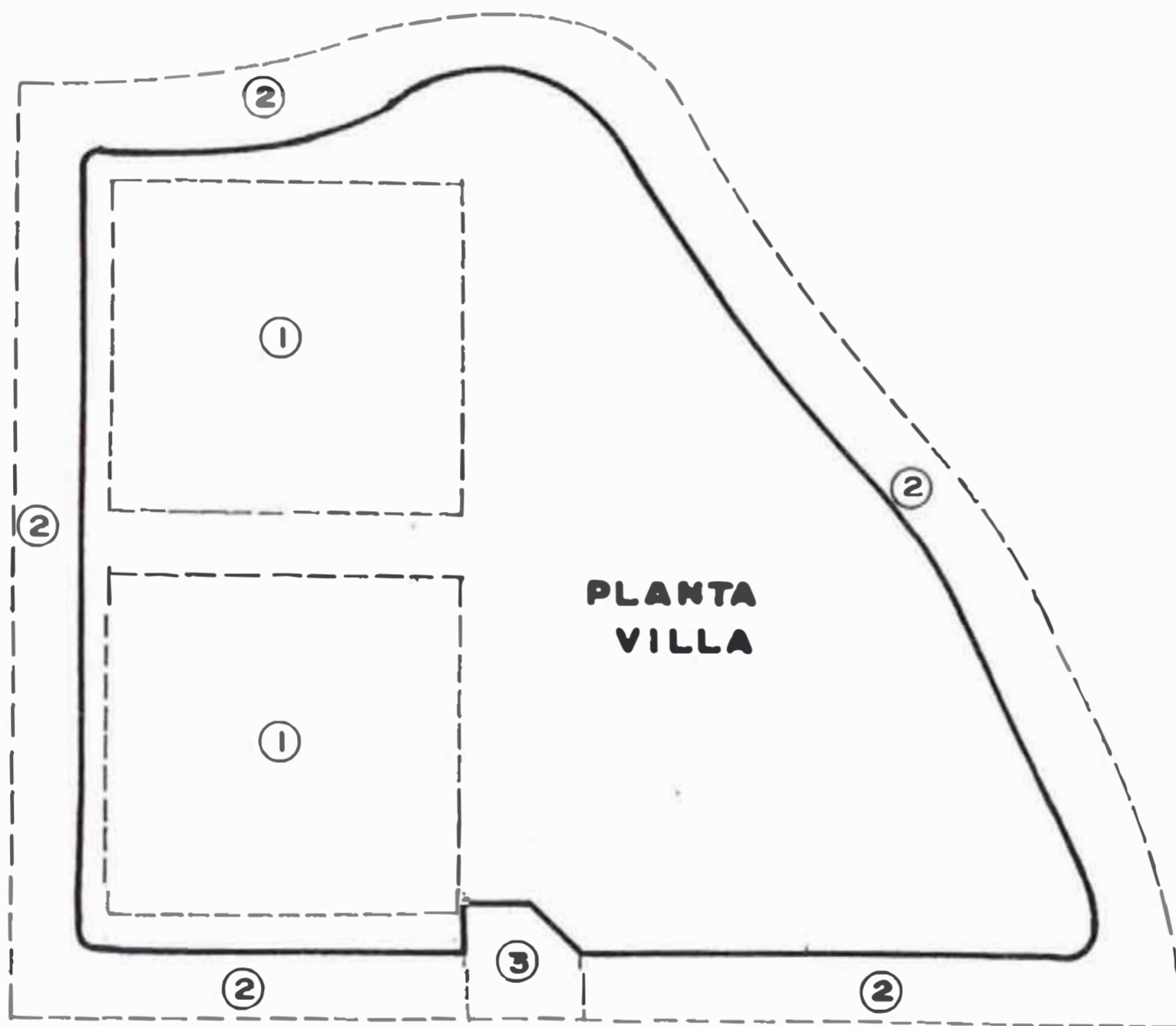
A partir de los valores de iluminancia se puede calcular la iluminancia media, que ya lo vimos líneas arriba y las relaciones de uniformidad general y media.

La relación de uniformidad general (G1) es el cociente entre el valor de la iluminancia mínima y el valor de la iluminancia máxima (E_{MIN}/E_{MAX}) y la relación de uniformidad media (G2) es el cociente entre el valor de la iluminancia mínima y media (E_{MIN}/E_{MED}).

Para la iluminación del área de parqueo consideraremos una relación de uniformidad media de 0.15 y para la iluminación perimétrica se tomará un valor de 0.25 para

la misma relación de uniformidad.

La luminancia media será tal que garantice un coeficiente de deslumbramiento confortable para el área de parqueo y al menos molesto para el área perimétrica. de acuerdo a la evaluación subjetiva de la tabla 2.



- ① AREA DE PARQUEO
- ② AREA PERIMETRAL
- ③ AREA DE FACHADA

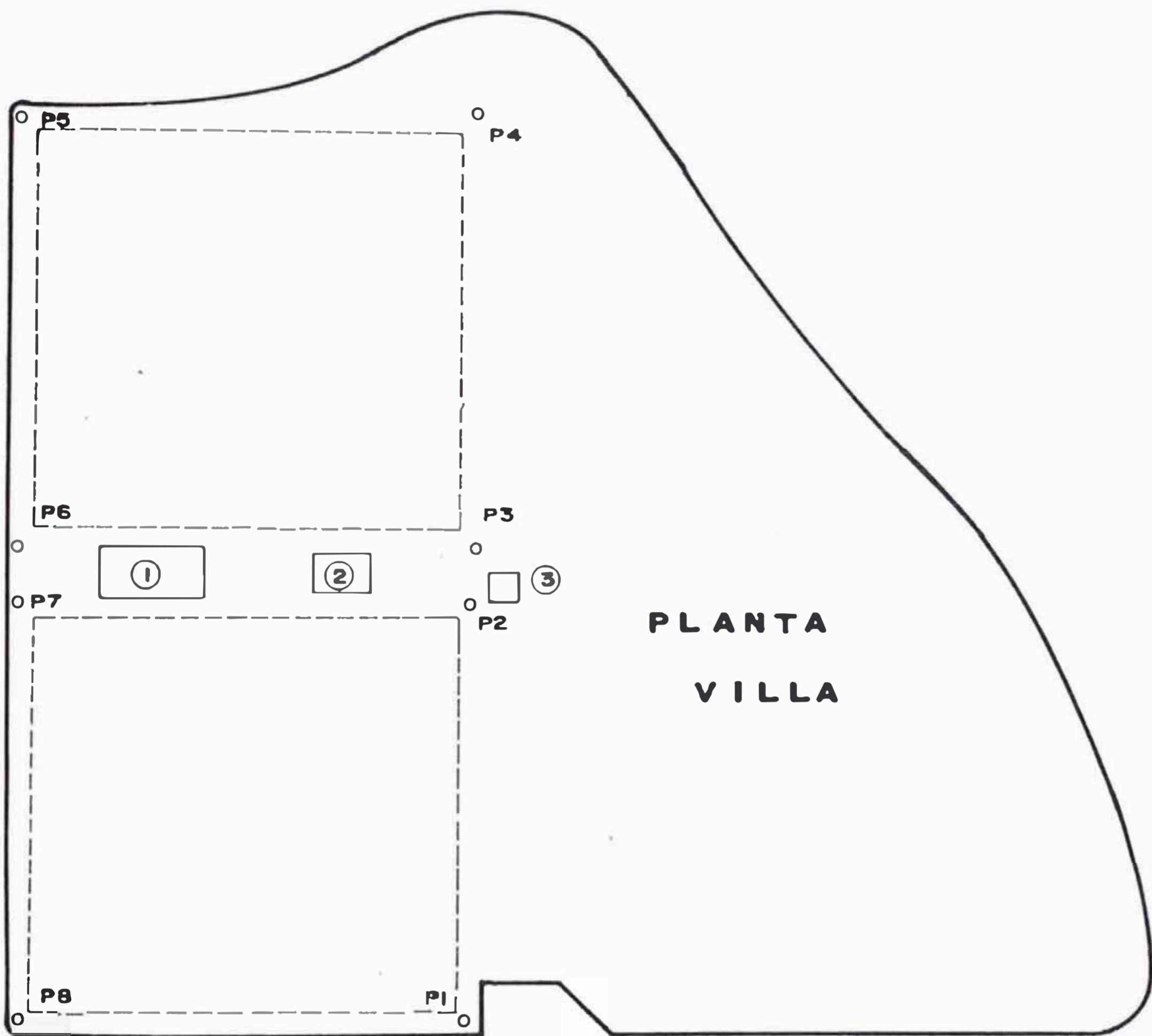
Fig. 30 Distribución de las áreas a iluminar

4.4 Cálculos

Para el cálculo de iluminación del patio de maniobras se va a requerir, como lo habíamos previsto, de garantizar un adecuado nivel de iluminación no siendo necesario en este caso una mayor consideración en cuanto al control del deslumbramiento.

Se han considerado dos tipos de reflectores para utilizarse en este cálculo debido a sus propiedades de control del haz y su potencia luminosa. Estos reflectores son: El HNF 001 N que es un reflector de haz angosto y utiliza una lámpara de vapor de sodio a alta presión de 1kW con un flujo luminoso de 125,000 lúmenes, y el reflector SNF 011/64 cuya principal diferencia con el anterior es la forma asimétrica de control del haz luminoso que, dadas las dimensiones del área a iluminar, lo hace más ventajoso para esta aplicación. Este reflector utiliza dos lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W cada una las que desarrollan un flujo luminoso de 94,000 lúmenes en conjunto.

La gráfica de la figura 40 nos muestra como vamos a distribuir el área del patio de maniobras para la iluminación correspondiente. Como podemos apreciar se ha dividido el área en cuestión en dos áreas similares físicamente separadas por el área ocupada por los talleres de Servicios Diarios. En la figura se hallan las ubicaciones de los postes los cuales llevarán nueve



- ① Taller de Servicios Diarios
- ② Zona de Lavado
- ③ Subestacion Electrica
- o Postes

Fig. 40 Iluminación del área de maniobras

reflectores por poste. El direccionamiento de los reflectores se puede apreciar en el Apéndice en donde además se muestran los resultados del cálculo de iluminación efectuado por el programa.

El cálculo ejecutado se realizó en base a los siguientes parámetros:

- Altura de montaje: 28 m.
- Número de postes: 4 unidades
- Número de reflectores por poste: 9 unidades
- Dimensiones del elemento de grilla: $7.5 * 7 \text{ m}^2$

Como podemos apreciar estos cálculos se han realizado para una parte del patio de maniobras. para la otra parte se asume exactamente lo mismo dado que son lo suficientemente semejantes.

Se puede apreciar también que dado que existe simetría en el área en que se han realizado los cálculos se puede considerar solamente una cuarta parte de la grilla general y considerar que el resto de la misma tiene el mismo promedio y la misma distribución.

4.5 Selección de equipos

De lo que podemos apreciar a partir de los resultados obtenidos podemos decir que vamos a utilizar en la iluminación del patio de maniobras de la planta Villa de ENATRU PERU S.A. ocho postes de 32 m. de altura los cuales irán en sendas bases de concreto con la finalidad de garantizar lo estipulado en los datos para el cálculo, además van a utilizarse 72 reflectores del tipo SNF

Esta selección se hace a partir de los siguientes criterios: El nivel de iluminancia obtenido por ambos tipos de reflectores es muy bueno y se halla por encima de la cantidad de lux que se habían previsto para este caso. Los coeficientes de uniformidad en ambos casos son también muy elevados aunque son ligeramente mejores los obtenidos con el reflector SNF 011/64. Finalmente vemos que el flujo luminoso de los reflectores guardan una relación de 1:1.3 mientras que los valores de iluminación media guardan una relación de solamente 1:1.01 en favor del reflector SNF 011/64. La diferencia de flujo luminoso va sin duda a dispersarse en el ambiente siendo causa de un mayor deslumbramiento.

5.0 DISEÑO DE LA ILUMINACION PERIMETRICA

El propósito de este capítulo es mostrar una aplicación del concepto subjetivo del grado de control de deslumbramiento, este concepto ayuda a determinar para un alumbrado público el nivel de perturbación en la capacidad de visión de las personas involucradas en el medio a iluminarse.

5.1 Definición del tipo de iluminación

Como ya lo hablamos previsto líneas arriba la iluminación perimétrica a que se hace referencia implica la iluminación de la parte frontal de acceso a la planta y el área contigua al cerco perimétrico.

Los criterios para iluminar esta área son muy diferentes a los que se utilizaron en el caso anterior porque aquí el parámetro más importante es el de la seguridad de la planta ante cualquier actividad sospechosa por parte de elementos antisociales. En este sentido podemos decir que la iluminación de esta área va implicar una cantidad de luz tal que permita la correcta visibilidad en la vecindad al cerco perimetral de la planta, además deberá garantizar una uniformidad que no permita la presencia de claro oscuros de visibilidad poco

confiables. Finalmente deberá preverse una cantidad de luz destinada principalmente a causar encandilamiento y molestia visual a cualquier elemento que intente generar acciones desestabilizadoras del normal transcurso de las labores de la planta.

5.2 Determinación de los parámetros de iluminación

Para la iluminación perimétrica de la planta vamos a considerar un nivel de iluminación de 50 lux para la parte de la fachada y de 35 lux para el resto del cerco perimetral. Estos datos son algo mayores al promedio superior recomendado dada la importancia del alumbrado en la planta en que se almacenan grandes cantidades de combustible y además de las mismas unidades que son tan fáciles de consumir por el fuego.

La uniformidad que se tendrá será del orden de 0.5 como mínimo para la uniformidad media en el área vecina a la fachada y de 0.4 para el resto del área perimetral.

En cuanto al grado de control de deslumbramiento se deberá conseguir un valor de GF de máximo 4 que pueda garantizar una presencia molesta de deslumbramiento.

5.3 Cálculos

De acuerdo a lo determinado en el punto anterior se ha dividido el área perimétrica en dos partes que se diferencian entre sí: el área contigua a la fachada y el área contigua al perímetro de la planta.

Para el área contigua a la fachada hemos considerado

la distribución que se muestra en la figura.

PLANTA VILLA

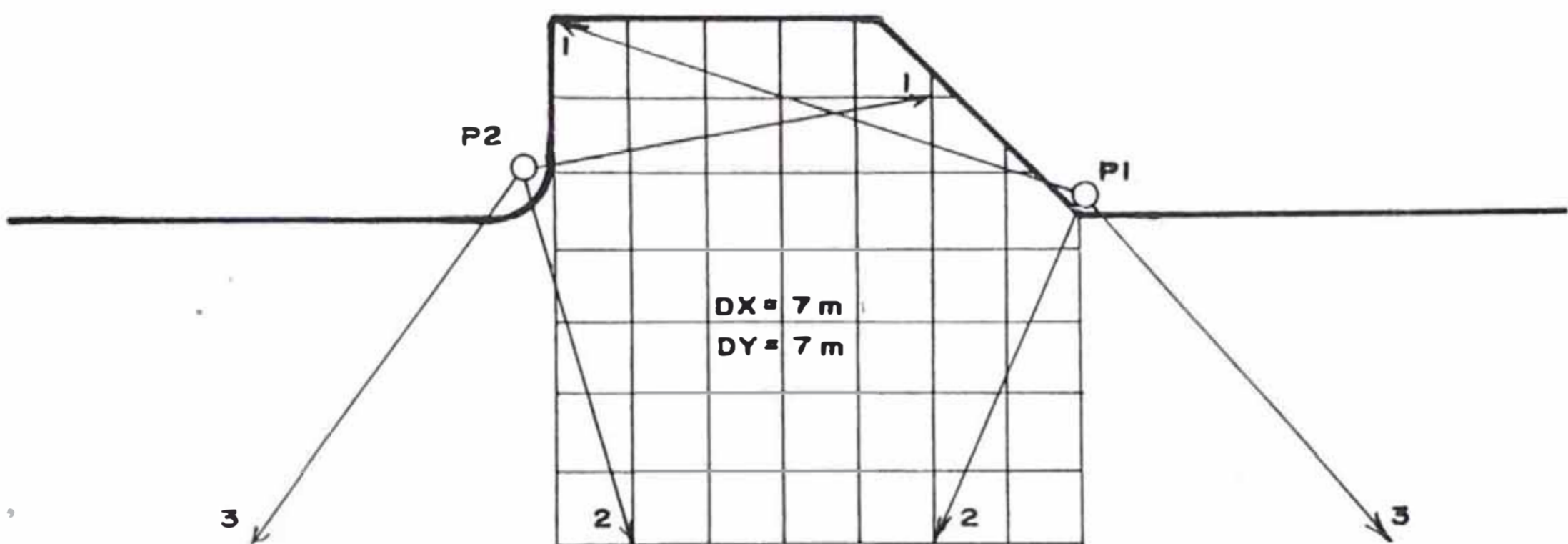


Fig. 42 Iluminación del área de fachada

Esta área es iluminada por seis reflectores ubicados en dos postes los cuales están ubicados de manera que puedan iluminar también la fachada.

Se han analizado en este caso reflectores tipo HNF 003 N, HNF 001 W y HNF 001 N los cuales han dado los resultados que se muestran en el Apéndice. El reflector HNF 003 N tiene una lámpara de vapor de sodio de 400 W y el haz luminoso es del tipo angosto, en cambio el reflector tipo HNF 001 W trabaja con dos lámparas de vapor de sodio de 400 W con un control del haz del tipo ancho; el reflector HNF 001 N tiene una lámpara de 1kW de

potencia con un flujo luminoso de 125,000 lúmenes el control del haz es del tipo angosto.

El cálculo se efectuó en base a los siguientes parámetros:

- Altura de montaje: 13.5 m
- Número de postes: 2 unidades
- Número de reflectores por poste: 3 unidades
- Dimensiones del elemento de la grilla: $l \times l \text{ m}^2$

El cálculo se hace en toda la grilla ya que no hay simetría que permita considerar solamente una parte de la misma.

Para el cálculo del área contigua al cerco perimétrico se ha considerado una distribución como la que aparece en la figura 43.

Como podemos apreciar vamos a realizar el cálculo de iluminación para un área típica en la que se consideran los aportes de las luminarias adyacentes las cuales van en postes separados cada 50 m.

Para esta parte se han considerado cuatro tipos de reflectores: El reflector HNF 001 N que tiene una lámpara de vapor de sodio de 1KW y un control de haz angosto; este reflector tiene una elevada intensidad luminosa (125.000 lúmenes); otro reflector considerado es el HNF 001 W el cual tiene dos lámparas de vapor de sodio de 400 W de potencia y haz ancho con una intensidad luminosa de las lámparas de 94.000 lúmenes; el reflector HNF 003 N ha

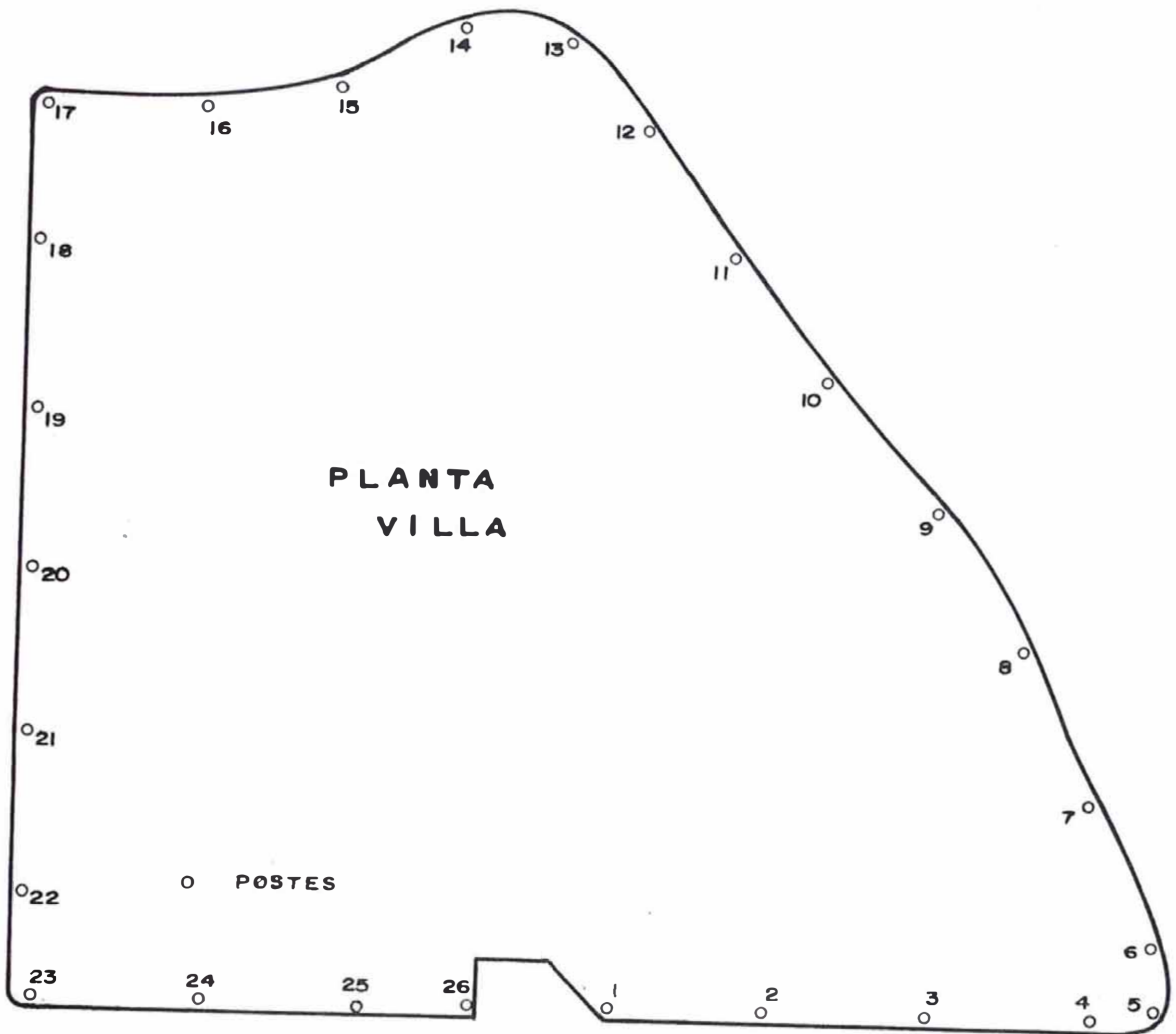


Fig. 43 Distribución del área perimétrica
 sido también considerado utiliza solamente una lámpara de vapor de sodio de 400 W y 47,000 lúmenes de flujo luminoso, tiene haz angosto y es al igual que el reflector HNF 003 W el reflector más pequeño; también se considera este último reflector cuya diferencia con el anterior es su manera de controlar el haz luminoso.

El cálculo de iluminación se efectuó en base a los

siguientes parámetros:

- Altura de montaje: 13.5 m
Número de postes: 6 unidades (para el cálculo)
- Distancia entre postes: 50 m
Número de reflectores por poste: 2 unidades
- Dimensiones del elemento de grilla: 10 * 5 m²

5.4 Selección de equipos

Los resultados obtenidos en el área de fachada nos muestran una mejor performance del reflector HNF 001 N el cual genera, para las condiciones dadas un mejor nivel de iluminación y una relación de uniformidad bastante elevada. En los otros reflectores se puede apreciar un nivel de iluminancia por debajo del requerido, un coeficiente de uniformidad pobre que se debe principalmente a la poca potencia de las lámparas. En cuanto al grado de control del deslumbramiento todos los casos cumplen con el mínimo aceptable en el parámetro de diseño.

En conclusión podemos decir que se utilizarán para esta parte de la fachada dos postes de 15 m. en los que se instalarán tres reflectores PHILIPS del tipo HNF 001 N con sus respectivos equipos de encendido.

Para el área contigua al cerco perimétrico vemos que de los cuatro tipos de reflectores solamente dos de ellos cumplen con los parámetros especificados en cuanto al

nivel de iluminación. Se podrían conseguir mejores niveles de iluminación con los otros reflectores pero a condición de reducir la distancia entre postes y/o a aumentar el número de reflectores lo que aumentaría el costo de la instalación y de mantenimiento.

De los dos tipos de reflectores que se tienen vemos que el reflector HNF 001 N es el que da un mayor nivel de iluminancia, además que el grado de control de deslumbramiento es mejor que el del reflector HNF 001 W por lo que podemos hacer un nuevo cálculo considerando una distancia entre postes de 60 m.

Analizando los cálculos para esta nueva situación vemos que el nivel de iluminancia es de 36 lux que esta dentro del margen permisible así como el grado de control de deslumbramiento que tiene un valor de cuatro; por lo tanto en vista de estos resultados podemos definir que se usarán reflectores del tipo PHILIPS HNF 001 N, con sus respectivos equipos de encendido, los cuales serán montados en postes de concreto de 15 m. de longitud los que irán emplazados cada 60 m, la altura de montaje será de 13.5 m.

El cálculo de iluminación se efectuó bajo condiciones que difieren de la anterior especificación en lo que se refiere a la distancia entre postes, la nueva distancia entre postes es:

- Distancia entre postes: 60 m.

6.0 PROYECTO DE ILUMINACION DEL PATIO DE LA PLANTA

En esta parte del trabajo se desarrollarán los cálculos de toda la infraestructura necesaria para materializar la iluminación de la planta y luego se presentará el proyecto eléctrico respectivo. En esta parte se calcularán pues las redes de alimentación a los reflectores, los dispositivos de protección y de control y todo lo que defina la materialización de la obra.

6.1 Diseño de redes, protección y mando

Los parámetros considerados para el cálculo de las redes eléctricas son los siguientes:

Se ha considerado una caída máxima de tensión de 5% de la tensión nominal, esto es, 11 V en el punto más alejado de los circuitos considerados.

Asimismo se ha considerado un factor de potencia de 0.9 y un factor de simultaneidad de 1.00.

Los circuitos a utilizarse son cuatro divididos de la siguiente manera:

C1 y C2 son los circuitos que alimentan el alumbrado perimetral y los circuitos C3 y C4 alimentan la iluminación del patio de maniobras.

Con el fin de asumir nuevas cargas se han calculado los circuitos con una sobrecarga de 25 %.

El mando de los equipos de iluminación se hará por medio de célula fotoeléctrica y manual, esto se controlará desde los tableros ubicados al pie de cada poste para el caso de la iluminación del área de maniobras, y desde el tablero general para el caso de la iluminación perimetral.

La protección se conformará de interruptores termomagnéticos en el caso de los circuitos y de fusibles para los equipos de alumbrado.

Los resultados de los cálculos de caída de tensión aparecen en el Apéndice.

6.2 Memoria Descriptiva

6.2.1 Generalidades

Introducción:

La Planta Villa de Enatru Perú S.A. se encuentra ubicada en la Av. Prolongación Huaylas s/n del distrito de Chorrillos, en la provincia y departamento de Lima. La Planta Villa tiene una extensión de 146.690 m² y un perímetro de 1,660 m.

Consideraciones:

El proyecto se ha desarrollado teniendo en consideración:

- El proyecto de arquitectura de la Planta Villa.
- Los tomos I, IV y V del Código Nacional de Electricidad.

La ley General de Electricidad Nro. 23406 su

reglamento.

6.2.2 Alcances

El objeto del presente trabajo es la elaboración del Proyecto de Instalaciones Eléctricas y el sistema de iluminación del patio de maniobras y del área perimétrica de la Planta Villa de Enatru Perú S.A.

6.2.3 Descripción del proyecto

Suministro Eléctrico:

Se erectuará desde el sistema eléctrico de la Planta la que se halla constituida de una subestación tipo caseta ubicada al lado de la oficina de Servicios Generales.

Tableros Eléctricos:

El Tablero General de la Subestación abastecerá a todos los circuitos destinados a la iluminación prevista y lo realizará mediante interruptores automáticos del tipo termomagnéticos. El resto de tableros para control y operación local serán del tipo para adosar e irán empotrados ya sea en muretes acondicionados para el efecto; o en pared.

Máxima demanda:

De acuerdo a los cálculos erectuados se ha obtenido la siguiente relación de cargas máximas:

Iluminación de la Planta:

63 KW

Iluminación perimétrica:	12 kW
TOTAL	75 kW

Alimentadores:

Los alimentadores desde el Tablero General a los sub-tableros se han previsto con conductores del tipo NYŶ de 1KV de tensión nominal máxima, instalados en ductos de concreto los cuales irán en tendido sub-terráneo.

Todos los alimentadores serán calculados para atender las demandas de sus tableros más un 25 % de reserva y habiendo considerado los factores de:

- Capacidad de corriente en ductos de concreto.
- Agrupamiento de ternas (si es necesario).
- Máxima caída de tensión permisible hasta el último punto de utilización: 5 %.

Distribución Eléctrica:

a. Circuitos Derivados.-

Los circuitos de alimentación a los postes serán cables del tipo NYŶ hasta la caja portarusibles de cada poste o en su defecto hasta la caja de pase ubicada en la plataforma de instalación de los reflectores.

Sistema de Iluminación:

a. Iluminación del patio de maniobras.-

Para la iluminación del patio de maniobras de la Planta se ha previsto un sistema provisto de reflectores ubicados en postes de concreto con una

altura de montaje de 28 m. Los reflectores serán nueve por cada poste y tendrán dos lámparas de vapor de sodio de 400 W. el número total de reflectores es de 72 unidades.

El control de los arteractos se hará por medio de una célula fotoeléctrica y en forma manual.

El nivel de iluminación será de 61 lux con un coeficiente de uniformidad medio de 0.725.

b. Iluminación perimetral.-

En la parte frontal de la fachada de la Planta y en su cerco perimetral se ha previsto la instalación de reflectores equipados con una lámpara de 1kw. los que irán montados en postes que aseguren una altura de montaje de 13.5 m.

El nivel de iluminación media del área contigua a la fachada será de 52 lux y para el área perimetral se ha considerado 36 lux. El coeficiente de uniformidad medio se ha estimado en 0.554 para el área contigua a la fachada y de 0.564 para el área perimetral.

Sistema de Tierra:

El sistema de tierra es individual para la iluminación del patio de la Planta y conecta la estructura de soporte de los reflectores y el tablero para control manual de cada poste.

Para la iluminación del área perimetral se ha considerado un sistema de tierra por cada tablero de control que conecta a este con cada estructura de soporte

de reflectores.

Bases de Cálculo:

Para la carga instalada y la máxima demanda del cálculo, se ha efectuado mediante la evaluación directa de las cargas y circuitos derivados.

Máxima caída de tensión en el último punto de consumo : 5 % . Los niveles de iluminancia considerados están de acuerdo a la norma DGE-017-A1-1/1982.

Factor de potencia: 0.9

Factor de simultaneidad: 1.0

Para efectos de cálculo de caída de tensión en los circuitos se han considerado las siguientes pérdidas en los equipos de encendido de las lámparas.

Lámpara	Potencia	Pérdidas
vapor de sodio	1000 W	60 W
a alta presión	400 W	35 W

Los materiales y equipos para las redes y arteractos de iluminación y demás a utilizarse y montarse en la ejecución de las instalaciones deberán cumplir con los requisitos técnicos vigentes a la fecha de ejecución de las obras.

Planos:

El proyecto está constituido por los siguientes planos:

Denominación	Descripción	Escala
IE-01	Red de distribución eléc	

trica -Iluminación Planta

Villa - Enatru Perú S.A.

1/1000

IE-02

Detalles de montaje y di_

reccionamiento de haces.

Indicada

6.2.4 Alcances del contratista de instalaciones eléctricas

Suministro instalación y pruebas de:

Interruptores en Tablero General y sub tableros.

- Ductos de concreto.
- Alimentadores eléctricos.
- Circuitos derivados.

Postes, plataformas de montaje y demás accesorios mecánicos.

- Reflectores y equipos de encendido.

Sistemas de tierra.

6.3 Especificaciones técnicas de materiales

6.3.1 Cables eléctricos

Los cables eléctricos serán conductores de cobre electrolítico de 99.9 de conductibilidad, con aislamiento de PVC, con protección del mismo material, del tipo NYR triplex (blanco, negro y rojo), para una tensión nominal de 1 kV y fabricados según normas IEC-228-1,978 para conductores e IEC-502-1,978 para el aislamiento con una temperatura máxima de operación de 80°C.

Acometidas

La derivación a las unidades de iluminación, hasta el dispositivo de protección ubicado en la plataforma de montaje de los reflectores se hará con cable tipo NYY dúplex de $3-1 \times 6 \text{ mm}^2$ y el enlace entre el dispositivo mencionado y las luminarias se hará por medio de un cable con aislamiento de neoprene con una sección de $2 \times 2.5 \text{ mm}^2$ no permitiéndose empalmes en este tramo.

6.3.2 Cruzadas

Los cables subterráneos cuyo mantenimiento sea vital para el funcionamiento de la instalación y/o que crucen las áreas tráfico de los buses deberán estar protegidos por ductos de concreto de 4"Ø; disponiendo un cable en cada vía del ducto. Los ductos se colocarán sobre un solado de concreto de 2" de espesor, como se indica en el plano proyecto de la red eléctrica.

La unión entre ductos será sellada con un anillo de cemento y se taponearán con yute alquitranado las vías de reserva. Se tendrá siempre al menos un ducto de reserva.

6.3.3 Unidades de alumbrado

Postes

Los postes estarán constituidos por armaduras de fierro y concreto. Se fabricarán mediante sistemas de centrifugación o de vibración, deberán cumplir con las normas siguientes:

ITINTEC 339.024 : Para diseño, fabricación y pruebas.

DGE 015-FD-1 :Para diseño y fabricación..

Dimensiones y características mecánicas

Longitud (m)	32	15
Carga de trabajo (kg)	700	400
Coeficiente de seguridad	(2)	(2)
Diámetro de la cima (mm)	435	210
Diámetro de la base (mm)	550	435

Los postes de concreto serán capaces de poder izarse desde su centro de gravedad sin exceder los esfuerzos de diseño.

Cimentación

Los postes para la iluminación del patio de maniobras de la planta tendrán una estructura especial para su cimentación de manera que garantice la altura de montaje que se tiene prevista en los cálculos de iluminación. Esta estructura será de concreto armado.

Los postes para la iluminación perimétrica estarán enterrados en 1/10 de su longitud total y cimentados con una mezcla de concreto 1:3:5.

Poseerán una caja portadora del dispositivo de protección de diseño aprobado por Electrolima. En el caso de los postes para la iluminación del área de maniobras será una caja de fierro galvanizado con fusibles para protección de cada uno de los reflectores y para los postes para la iluminación perimétrica estarán constituidos por cajas de corta-circuito bipolares.

Las cajas portarán los siguientes elementos:

- a) Cuerpo aislante de plástico.
- b) Portafusibles con bornes de bronce plateado y pinzas de bronce.
- c) Fusibles tipo "C" o similares de 15 amperios.
- d) Tapa con su respectivo elemento de fijación.

Crucetas

Las crucetas serán de concreto armado para instalarse en los postes de 15 m. y deberán tener las siguientes características:

Tipo	Simétrico
Longitud nominal (m)	2.00
Tiro horizontal (kg)	200
Tiro vertical (kg)	150
Tiro transversal (kg)	500
Coefficiente de seguridad	(2)

Estructura de soporte de reflectores

Los reflectores montados en los postes de 28 m. se instalarán en estructuras de **hierro** las cuales se elaborarán a base de perfiles y planchas del mencionado material previamente arenados y pintados con dos manos de pintura corrosiva y dos manos de acabado según las dimensiones mostradas en el plano 1E-02.

Reflectores

Los reflectores tendrán las siguientes características:

El cuerpo del reflector será de aluminio fundido, moldeado por inyección a alta presión, espejo reflector de aluminio anodizado de alto grado de pureza para un control total del haz, vidrio frontal resistente a cambios de temperatura; con empaquetadura a prueba de chorro y polvo.

La portalámpara será del tipo antivibrante de casquillo E 40/45 y E 40/80 x 50.

Equipo accesorio

Balasto

Para las lámparas de vapor de sodio a alta presión se utilizarán balastos para limitar la corriente a través de la lámpara, operando a la tensión nominal de 220 V y a 60 Hz de frecuencia, además cumplirán con las siguientes características:

Potencia de la lámpara (W)	400	1000
Pérdida en el balasto (W)		60

El acabado exterior deberá ser totalmente hermético, blindado o cubierto con resina a prueba de humedad o contaminación ambiental.

Ignitores

Se instalarán para facilitar el encendido de las

lámparas mediante un pico de tensión a través de la lámpara en el momento del encendido operando a una tensión de 220 V y 60 Hz de frecuencia.

Condensador

Se instalarán para mejorar el factor de potencia del conjunto lámpara-balasto teniendo aquellos las siguientes características:

Potencia de lámpara (W)		400	1000
Capacidad (µF)		45	100
Tensión (V)		220	220

Característica de las lámparas

Tipo	:	vapor de sodio a alta presión	
Potencia	:	400 W	1000 W
Flujo luminoso	:	47.000 lm	125.000 lm
Mínima tensión para funcionamiento estable		200 V	200 V
Mínima tensión de cebado	:	170 v	170 V

6.3.4 Zanjas

Los cables se instalarán en zanjas de 0.5 x 0.65 m de profundidad mínima de la superficie libre, cuando no se indique otra cosa. El cable se colocará sobre una capa de tierra cernida de 0.05 m. de espesor, se protege con una capa de tierra cernida de 0.10 m. sobre la cual se colocará a 0.20 m. la cinta señalizadora de color amarillo, el resto de la zanja se rellenará con tierra

compactada sin pedrones.

La tierra cernida se obtendrá con zaranda de cocada de 1/2 ".

Características de la cinta señalizadora

Material : Cinta de polietileno de alta calidad y resistencia a ácidos y álcalis.

Ancho : 5 pulgadas

Espesor : 1/10 mm.

Color : Amarillo brillante, inscripción con letras negras que no pierdan su color con el tiempo, recubiertas con plástico.

Elongación: 250 %

Las inscripciones y modo de instalación deberán ser de acuerdo a las normas establecidas por Electrolima.

6.3.5 Empalmes

Para la unión de los cables, se emplearán bolsas de resina epóxica aislante, vertidas en moldes de plástico con un sistema de fácil unión para asegurar un cierre hermético.

Los empalmes de los conductores se harán en general con manguitos estañados o con conectores a presión.

La cubierta del cable en los puntos sobre los cuales se ajustarán los extremos del molde de plástico, se asegurarán con cinta aislante o con masilla eléctrica.

Después de colocado el molde se verterá la resina aislante en el interior del mismo, a través de embudos apropiados de polietileno hasta llenar completamente la

cavidad del molde.

Los empalmes deberán protegerse lateralmente y por la parte superior con una hilera de ladrillos corrientes salvo en el caso que se realicen al interior de los buzones destinados al mantenimiento, luego de colocar los ladrillos se rellenarán los espacios con arena y tierra cernida.

6.3.6 Tableros de control

Gabinete metálico

El gabinete estará constituido por la caja, el marco y la puerta fabricados en plancha de F²G² de 1/16". El gabinete recibirá dos manos de pintura gris martillado.

La caja llevará huecos ciegos de 25,30,35 y 50 mm. sus dimensiones serán recomendadas por el fabricante, debiendo tener el espacio suficiente por los cuatro costados a fin de poder efectuar el alambrado en ángulo recto.

La puerta llevará cerradura tipo YALE, marcada en relieve llevará la denominación del tablero según los planos; tendrá también unas guías que alojarán la relación de los circuitos del tablero sobre una cartulina blanca.

Las barras y accesorios deben ir colocadas aisladas de todo el gabinete, de modo que cumplan con las especificaciones de "Tablero de Frente vuelto". Estas serán de cobre electrolítico de 200 amperios de capacidad mínima.

Llevará una bornera para conectar las diferentes tierras de los circuitos derivados y del alimentador.

6.3.7 Interruptores

Serán automáticos del tipo termomagnético para protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Serán intercambiables de forma que puedan ser removidos sin tocar los interruptores adyacentes. Tendrán contactos de presión accionados por tornillos, estos serán de aleación de plata. El mecanismo de disparo de los interruptores será de "apertura libre" de manera que no puedan ser forzados a reconectarse mientras subsistan las condiciones de cortocircuito. Llevarán claramente marcadas las palabras ON y OFF.

La capacidad de cortocircuito de los interruptores será de 15 kA para los sub-tableros y de 25 kA para los interruptores ubicados en el Tablero General los que además serán del tipo palanca.

Nota

Los materiales y accesorios a utilizarse en la ejecución del presente proyecto deberán estar comprendidos en la relación de materiales actualizados y aceptados por Electrolima.

6.4 Especificaciones técnicas de montaje

6.4.1 Alimentadores eléctricos

El tendido de los alimentadores eléctricos deberá hacerse de acuerdo a los criterios comúnmente usados en

este campo y teniendo especial cuidado en lo siguiente:

No se permitirán empalmes fuera de los buzones de mantenimiento en el caso de las redes que utilicen ductos de concreto.

No se permitirá más de un circuito por cada vía de un ducto de concreto.

En todos los circuitos deberá hacerse las pruebas para verificar que no hallan cruces entre circuitos o rallas a tierra.

6.4.2 Ductos de concreto

Los ductos de concreto deberán empezar y terminar en los buzones de mantenimiento y deberán garantizar una unión mecánica adecuada para el normal tendido de los cables alimentadores. Deberá considerarse siempre una vía de reserva al menos para posibles ampliaciones o por algún otro motivo no previsto.

6.4.3 Postes

Para el montaje de los postes de concreto se deberá calcular por parte del contratista de ejecución de la obra de una base de concreto que permita obtener la altura de montaje de 28 m. deseada.

El personal y los equipos que ejecuten la instalación de los postes deberán tener comprobada experiencia en la ejecución de este tipo de obras.

6.4.4 Platarformas de montaje y accesorios

Las platarformas de montaje se elaborarán en tierra e

incluirán toda la parte de accesorios mecánicos necesarios para el montaje y funcionamiento de los reflectores. La caja de fusibles será montada también en tierra quedando solamente por instalar en el poste ya instalado las cajas portaequipos de los reflectores.

6.4.5 Reflectores y equipos de encendido

Los equipos de encendido y sus circuitos se montarán cuando la plataforma de montaje ya este instalada. Los esquemas de conexión deberán corresponder a lo recomendado por los fabricantes no permitiendo modificaciones a menos que estos la consideren efectiva.

El direccionamiento de los reflectores deberá realizarse en base a los datos de inclinación horizontal y vertical que aparecen en los planos y se verificarán posteriormente de acuerdo al grado de uniformidad de la iluminación proyectada.

6.4.6 Tableros

Los sub-tableros de control de los postes de la iluminación del patio de maniobras de la planta serán montados en muretes especialmente acondicionados para el efecto, serán uno por poste como se especifica en el plano proyecto.

6.4.7 Sistemas de Tierra

Las partes metálicas tanto de los tableros como de las plataformas de montaje estarán conectadas a los pozos de tierra.

Nota

Toda modificación de las condiciones estipuladas en el proyecto deberán sustentarse por escrito lo mismo que la aprobación de las mismas para que puedan ser efectuadas.

6.5 Costos

Esta parte se refiere a la elaboración de los metrados y presupuestos de la obra proyectada los cuales se han realizado de acuerdo a los planos del presente proyecto.

La valorización de los trabajos se ha hecho de acuerdo a los costos de la mano de obra y materiales que se encuentran en nuestro medio y cuyas partes se detallan en la descripción de tareas.

Se ha tomado en cuenta asimismo los márgenes de utilidad y los destinados a cubrir los gastos generales según se acostumbra.

Los costos unitarios directos que se muestran han sido elaborados mediante un cuidadoso análisis para cada caso en el que se han considerado los rendimientos reales de la mano de obra y la proporción en que interviene cada categoría de trabajador. Asimismo se consideran los gastos de alquiler de equipo y herramientas.

El metrado y presupuesto se muestran en el Apéndice.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- 1.- El programa efectuado se realizó en lenguaje BASIC intérprete, esto es en GWBASIC, con la ventaja de una mayor comprensión en cuanto al fin didáctico del trabajo. La desventaja principal reside en el tiempo de ejecución.
- 2.- Los resultados obtenidos a partir de las curvas isocandela de los reflectores han arrojado una precisión con respecto de cálculos efectuados por los programas de PHILIPS de alrededor del 8% siempre por debajo de los valores del programa de la PHILIPS, esta precisión es bastante buena teniendo en cuenta que son datos obtenidos por aproximación gráfica lineal.
- 3.- El programa puede ser cargado con datos de diferentes tipos de reflectores siempre y cuando estos datos correspondan a las coordenadas establecidas B-BETA y que la información se determine en valores por unidad con respecto a la intensidad máxima (I/I_{max}).
- 4.- El tratamiento de las características de las superficies es semejante al de los reflectores en el sentido de que para cada tipo de superficie esta asociada una curva característica de luminancias en la misma para el caso de que I es constante en todas

direcciones. Para el caso de una superficie entonces será necesario cargar los datos de esta curva para proceder a los cálculos de luminancia.

- 5.- Para aplicar este programa a la iluminación de vías, esto es, para el alumbrado público solamente es necesario cambiar el programa según el cambio que se produce en lo que corresponde a las coordenadas, ya que en luminarias de alumbrado público se utiliza un sistema de coordenadas diferentes al B-BETA de los reflectores.
- 6.- Para el caso en que no se conozcan los datos de una luminaria se puede estimar los valores de intensidad para la correspondiente elaboración de la curva isocandela para dicha luminaria con la ayuda de un luxómetro y con un reacondicionamiento del programa a fin de que provea los factores que correspondan para el efecto. Esta es una alternativa para la costosa remisión a un laboratorio especial para la realización de las características de la luminaria.
- 7.- Este trabajo es, como todos los trabajos, sujeto a mejoras y ampliaciones de manera que pueda cubrir todo el campo de la ingeniería relacionada a la iluminación de manera que se pueda también darle un mayor impulso a esta rama en el medio.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Catálogo de Iluminación Profesional de PHILIPS.
- 2.- Manual de iluminación de la Westinghouse.
- 3.- Cálculo de Iluminación por computadora; Guillén, Cipriano.
- 4.- Manual de Iluminación de USRAM.
- 5.- Luminotecnia; Ramírez José.
- 6.- Manual del montador electricista; Croft, T.
- 7.- Manual de la I.E.S.