



9
2ej.
Universidad
Nacional
Autónoma
de México.

ENEP - Aragón

Alumbrado en Areas Abiertas
con Reflectores por Computadora

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO- ELECTRICISTA

Presenta

"Mejía Roldán José Juan Ramón"

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I : CONCEPTOS BASICOS DE ILUMINACION:	
1.1) Generalidades.	4
1.1.1) El Ojo Humano.	4
1.1.2) Esclerótica.	6
1.1.3) Coroides.	6
1.1.4) Retina y sus partes.	7
1.1.5) Cristalino.	8
1.1.6) Humor Vitreo.	8
1.1.7) Purpura Visual.	8
1.2) Características y Defectos Estructurales.	9
1.2.1) Adaptación.	9
1.2.2) Sensibilidad del Ojo.	10
1.2.3) Miopía.	11
1.2.4) Hipermetropía.	11
1.2.5) Astigmatismo.	12
1.2.6) Presbicia.	12
1.3) Factores Objetivos del Proceso Visual.	12

	Pág.
1.3.1) Tamaño.	12
1.3.2) Contraste.	13
1.3.3) Luminancia.	13
1.3.4) Tiempo.	13
1.4) Breve Descripción Histórica del Conocimiento de la Luz.	13

CAPITULO II : CONCEPTOS TECNICOS.

2.1) Definiciones.	21
2.1.1) Flujo Luminoso.	21
2.1.2) Lumen.	22
2.1.3) Intensidad Luminosa.	22
2.1.4) Candela.	23
2.1.5) Iluminancia.	26
2.1.6) Lux.	26
2.1.7) Footcandle.	27
2.1.8) Luminancia ó Brillo Foto <u>métrico.</u>	28
2.1.9) Rendimiento Luminoso.	31
2.1.10) Cantidad de Energía Lumi <u>nosa.</u>	32
2.2) El Color.	33
2.2.1) Efectos Psíquicos.	35

	Pág.
2.2.2) Radiaciones del Cuerpo Negro.	36
2.2.3) Temperatura del Color.	37
2.3) Lámparas.	
(Principios, Funcionamiento y Características).	38
2.3.1) Condiciones Necesarias de una Fuente de Luz.	38
2.3.2) Efectos Biológicos de la Radiación.	40
2.3.3) Radiaciones Infrarrojas.	42
2.3.4) Vida Media y Vida Util.	43
2.3.5) Costo de Alumbrado.	44
2.3.6) Tensión de Alimentación e Influencia en la Línea.	46
2.3.7) Efecto Estroboscópico.	48
2.3.8) Interferencias Radioeléctricas.	49
2.3.9) Luminiscencia.	50
2.3.10) Descarga Eléctrica en un gas.	52
2.3.11) Lámparas de Vapor de Mercurio.	56
2.3.12) Lámparas de Luz Mezcla.	60
2.3.13) Lámparas de Halogenuros Metálicos.	63
2.3.14) Lámparas de Vapor de Sodio a Baja Presión.	65

	Pág.
2.3.15) Lámparas de Vapor de Sodio a Alta Presión.	68
2.4) Fenómenos de la Luz.	70
2.4.1) Reflexión.	71
2.4.2) Reflexión Dirigida.	72
2.4.3) Reflexión Difusa.	73
2.4.4) Reflexión Semidirigida.	74
2.4.5) Reflexión Semidifusa.	75
2.4.6) Refracción.	77
2.4.7) Transmisión.	80
2.4.8) Transmisión Dirigida.	80
2.4.9) Transmisión Difusa.	81
2.4.10) Transmisión Semidirigida.	82
2.4.11) Transmisión Semidifusa.	82
2.4.12) Factor de Transmisión.	83
2.4.13) Absorción.	83
2.4.14) Difracción.	83

CAPITULO III :CALCULO DE LA ILUMINACION EN AREAS --
ABIERTAS:

3.1)Consideraciones Básicas.	85
3.1.1) Análisis de las Necesidades de Iluminación.	86

	Pág.
3.1.2) Determinación del Nivel Lum <u>in</u> noso más Aconsejable.	87
3.1.3) Elección del Tipo de Fuente- de Luz.	88
3.1.4) Selección del Color de la -- Luz Emitida por la Lámpara.	88
3.1.5) Selección del Luminario.	89
3.1.6) Elección de la Altura de Mon- taje.	90
3.1.7) Estimación de las Condicio-- nes de Mantenimiento.	90
3.1.8) Determinación del Número de Luminarios Requeridos.	91
3.2) Ley Inversa de los Cuadrados.	93
3.3) Ley Coseno.	95
3.4) Método de Punto por Punto.	96
3.4.1) Iluminación Horizontal.	97
3.4.2) Iluminación Vertical.	101
3.5) Método de Flujo Luminoso.	103
3.5.1) Determinación del Nivel de -- Iluminación.	103

	Pág.
3.5.2) Determinación del Tipo y Emplazamiento de los Reflectores.	108
3.5.3) Determinación del Coeficiente de Iluminación del Haz.	110
3.5.4) Estimación del Factor de Mantenimiento.	111
3.5.5) Determinación del Número de Reflectores Requeridos.	113
3.6) Curva de Utilización.	113
3.7) Selección del Tipo de Lámpara a Utilizar.	117
3.7.1) Lámpara Incandescente.	117
3.7.2) Lámpara Yodo-Cuarzo.	
3.7.3) Lámpara de Vapor de Mercurio.	118
3.7.4) Lámpara de Aditivos Metálicos.	118
3.7.5) Lámpara Fluorescente.	118
3.7.6) Lámpara de Vapor de Sodio a Alta Presión.	119
3.8) Tabla de Selección Rápida de Lámparas.	120

CAPÍTULO IV : PROCEDIMIENTO DE CALCULO DEL NIVEL DE
ILUMINACION PUNTO POR PUNTO EN UN AREA
ABIERTA.

4.1) Generalidades.	122
4.2) Determinar el Nivel Luminoso.	122
4.3) Seleccionar el Tipo de Lámpara.	122
4.4) Selección del Reflector ó Lumi- nario.	123
4.5) Determinación del Número de Re- flectores.	124
4.6) Factor de Mantenimiento.	126
4.7) Determinación del Número y Loca- lización de Reflectores y Postes.	126
4.8) Guía para Seleccionar la Distri- bución del Haz.	128
4.9) Algoritmo para la Aplicación del Método Punto por Punto.	131
4.10) Cálculo de la Iluminación en las canchas de Baloncesto de la ENEP- Aragón.	146
4.10.1) Características Luminotéc- nicas Existentes.	149
4.10.2) Consideraciones para el - Cálculo de la Iluminación por Medio de la Computadora.	152

	Pág.
4.10.3) Distribución Original	153
4.10.4) Orientación Sugerida.	157
CONCLUSIONES.	162
APENDICE.	164
BIBLIOGRAFIA.	194

INTRODUCCION

Hoy en día el hombre realiza actividades en áreas abiertas bajo la iluminación artificial, por esto es menester, suministrar la iluminación en condiciones adecuadas, para satisfacer con las mejores características las necesidades de luz.

Para satisfacer estas necesidades, el diseñador debe conocer y manejar diferentes variables y conocimientos tales como : sensibilidad del ojo, luminancia, lumen, etc., que deben intervenir en el diseño de una instalación de Alumbrado.

Actualmente existen diferentes Métodos de Cálculo de la Iluminación en Areas Abiertas. El Método mas exacto es el de "PUNTO POR PUNTO", sin embargo este Método requiere de arduos cálculos.

En el presente trabajo se desarrolla un programa para calcular la iluminación mediante el Método Punto por Punto mediante una computadora : con la utilización de este programa - el diseñador puede, en poco tiempo calcular la iluminación en áreas abiertas para varias alternativas en la distribución de los reflectores y de ésta manera encontrar la mejor distribución de los luminarios que satisfagan las necesidades del usuario.

Cabe mencionar que en este trabajo sólo se obtiene el -

cálculo de la iluminación a partir de las curvas isocandelas, mismas que la mayoría de los fabricantes ofrecen con sus productos. Asimismo, no considero obstáculos en las áreas a iluminar.

Considerar otras curvas, obstáculos y otros detalles, pueden ser objeto de trabajos posteriores.

ALUMBRADO EN AREAS ABIERTAS CON REFLECTORES POR COMPUTADORA

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS

1.1.).- GENERALIDADES.

En la antigüedad, el día normal para la vida del hombre comprendía desde que el sol salía hasta que se ocultaba. Pero actualmente después de un día normal de trabajo, el hombre continúa usando sus ojos en horas avanzadas de la noche y constantemente bajo luz artificial, leyendo en casa, viendo películas, manejando su coche, etc. Por lo tanto en la actualidad, el ojo tiene muchas horas de trabajo y menos de descanso, de aquí, la necesidad del ser humano de realizar tareas de un modo rápido, seguro y fácil lo ha llevado a estudiar diferentes fenómenos relacionados con la luz, las formas como se produce esta y el órgano a través del que se percibe. Teniendo siempre como meta lograr un determinado trabajo con un mínimo de fatiga.

1.1.1.).- EL OJO HUMANO.

La luz es la manifestación de energía en un pequeño rango de frecuencias que estimula uno de los órganos más maravillosos del cuerpo humano-"el ojo"-, el cual nos pone en contacto con el mundo que nos rodea permitiendonos dentro de ciertos límites observar la realidad -el mundo-.

El ojo órgano fisiológico mediante el cual se experimentan sensaciones de luz y color, recibe energía luminosa, la transforma y la conduce al cerebro.

Se suele comparara éste órgano con una cámara fotográfica ya que se le parece en muchos aspectos. Sin embargo éste es un órgano extraordinariamente adaptable, cuya operación es entre los límites que guardan una relación entre sí más de - un millón a uno.

Debido a este hecho es muy fácil abusar de éste, si se utiliza con luz insuficiente o de baja calidad produce fatiga innecesaria.

El ojo tiene forma de globo con un diámetro de aproximadamente 23 mm.

La comparación con las partes de una cámara fotográfica es la siguiente:

OJO

ESCLEROTICA

COROIDE

RETINA

IRIS

PUPILA

PARPADO

CRISTALINO

CAMARA FOTOGRAFICA

CAJA EXTERIOR

RECUBRIMIENTO INTERNO

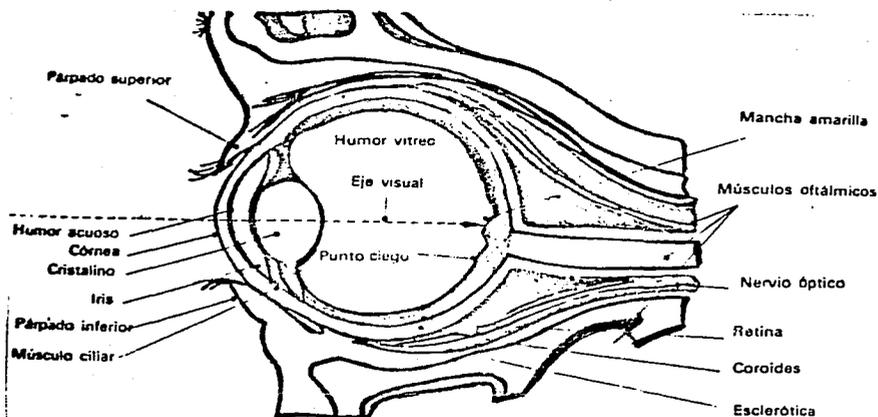
PELICULA

DIAFRAGMA

APERTURA

OBTURADOR

LENTE

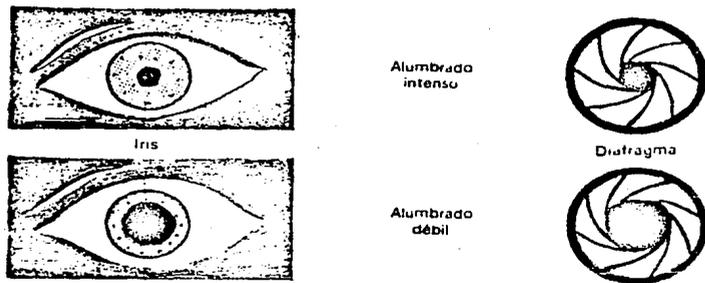


(Fig. 1.1).- Constitución Anatómica del Ojo Humano

1.1.2.)- ESCLEROTICA.- Capa o cubierta exterior de una sustancia firme, blanca y opaca. Es lo que da forma al ojo y hacia el frente se vuelve transparente denominándose a esa parte córnea.

1.1.3.)- COROIDE.- Consiste en un forro interno del ojo, tiene vasos capilares que sirven para nutrir al globo ocular. A la parte frontal se le denomina Iris, esta es una parte de color cubre el mismo propósito que el diafragma en la cámara. Controla en forma automática la cantidad de luz que entra al ojo abriendo ó cerrando la pupila. En iluminaciones de valores muy altos puede reducirse a un diámetro aprox. de 2 mm y en niveles bajos se dilata hasta 8 mm; siendo la adapta--

ción más rápida, cuando se pasa de un nivel bajo a uno más -
alto.



(Fig. 1-2) Adaptación del Ojo a Distintos Alumbrados.

1.1.4.)- RETINA Y SUS PARTES.- Constituye el forro interno del ojo que es sensible a la luz, correspondiendo a la película en la cámara fotográfica .

En esta parte contiene una delicada capa de tejido nervioso cuyas terminaciones son denominadas conos y bastones.

a) CONOS.- Existen varios millones de conos, situados cerca de la fovea o mancha amarilla, realizan la función de la visión diurna, y son los responsables de la distinción de los colores.

b) BASTONES.- desparrramados en toda el área de la -

retina, tienen la finalidad de llevar a cabo la visión nocturna o con relativa obscuridad (Visión Escotópica).

1.1.5.).- CRISTALINO.- Está situado inmediatamente detrás de la pupila, suspendido y sostenido mediante los músculos ciliares. Es una estructura flexible que tiene forma de un lente, cuya principal función es enfocar automáticamente, mediante los músculos, que cambian su forma de los objetos lejanos y cercanos.

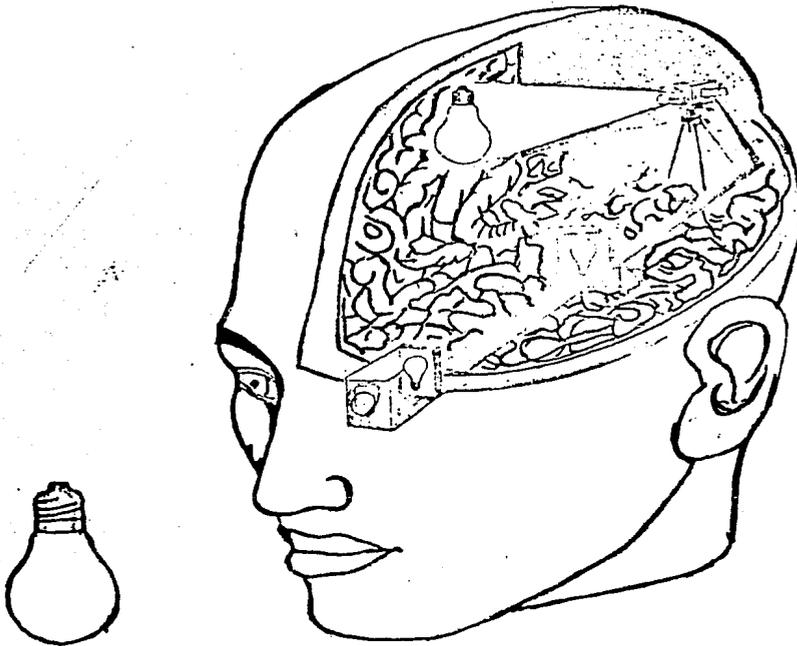
1.1.6.).- HUMOR VITREO.- Se encuentra detrás del cristalino y llena todo el espacio restante dentro del ojo. Actúa en unión con el cristalino para refractar, desviar los rayos de luz y dirigirlos a la fovea.

1.1.7.).- PURPURA VISUAL.- Sustancia fotoquímica que se encuentra en los bastones, bajo la acción de la luz se decolora y descompone en una serie de productos.

El campo visual se extiende normalmente 180° en el plano horizontal, 130° en el plano vertical, 60° por encima de la horizontal y 70° por debajo de ésta.

Los rayos luminosos atraviesan la córnea, posteriormente es con el humor acuoso que llegan al cristalino donde se refractan y es en la retina, donde se recibe la imagen invertida y mucho más pequeña que la natural; el cerebro se encar

ga de su rectificación e interpretación como se muestra en la (fig. 1 - 3)



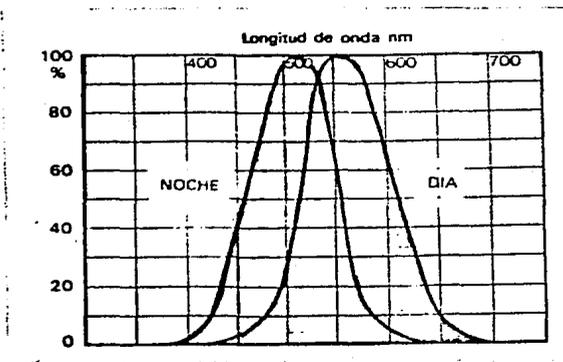
(Fig. 1-3) Formación de Imagen y Rectificación.

1.2.)- CARACTERISTICAS Y DEEECTOS ESTRUCTURALES .

1.2.1.)- ADAPTACION.- Se refiere a los cambios en la sensibilidad de la retina provocados por la luz, esta es la responsable de que la retina, pueda ser sensible a diferentes niveles de luz distantes entre sí, tanto como del orden de un millón a uno.

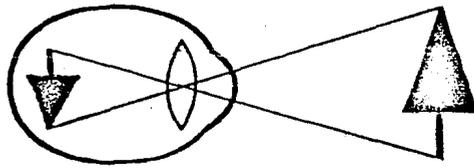
1.2.2.)- SENSIBILIDAD DEL OJO.- El ojo no es sensible por igual a todas las longitudes de onda, la radiación electromagnética está comprendida entre 380 nm y 780 nm. Con una gran cantidad de personas se ha demostrado, que la máxima sensibilidad está en el amarillo verdoso a 555 nm, mientras que los extremos corresponden al azul y al rojo respectivamente; de manera que se necesitan 9 unidades de energía roja para producir una unidad de amarillo verdoso. En otras palabras, cuando la longitud de onda se acorta o se alarga la sensibilidad disminuye.

Existe un desplazamiento en la sensibilidad del ojo -- denominado efecto Purkinje, el cual desplaza la curva alrededor de 480 angstroms al extremo azul del espectro. Se puede deducir que los colores de longitud de onda más corta producen mayor sensación con baja iluminación. Las curvas muestran el efecto comentado (Fig. 1-4.).



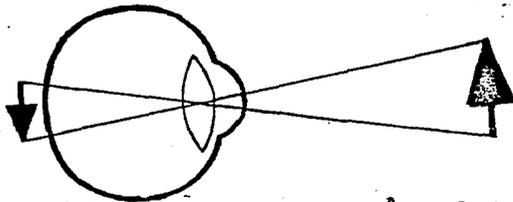
(Fig. 1-4) Curvas de sensibilidad del ojo a las radiaciones monocromáticas.

1.2.3.)- MIOPIA.- Defecto estructural donde la distancia focal del ojo es muy corta, por lo que los rayos convergen delante de la retina y no en ella; los objetos cercanos se ven claramente pero los distantes aparecen borrosos, el defecto es -- que el diámetro del ojo es muy largo. Los rayos convergen, -- como se ven en la (fig. 1-5).



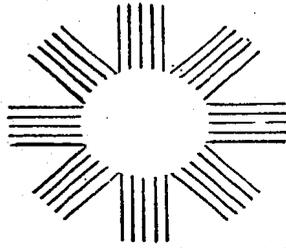
(Fig. 1-5) Los rayos convergen delante de la retina.

1.2.4.)- HIPERMETROPIA.- La distancia focal del ojo es demasiado grande, por lo que la imagen se forma detrás de la retina y no en ella. De aquí que las personas no ven con -- claridad los objetos cercanos debido a que, el diámetro del -- ojo es demasiado corto (Fig. 1-6.).



(Fig1-6) Los rayos convergen detrás de la retina.

1.2.5.)- ASTIGMATISMO.- Defecto estructural en el que la distancia focal es diferente para dos planos perpendiculares, (no se pueden enfocar líneas verticales y horizontales al mismo tiempo), a causa de irregularidades de la curvatura en la córnea y el cristalino (Fig 1-7.).



(Fig. 1-7). No es posible captar la figura.

1.2.6.)- PRESBICIA.- Es la pérdida de elasticidad en el cristalino debido a la edad, hace más difícil el proceso de enfoque.

1.3.)- FACTORES OBJETIVOS DEL PROCESO VISUAL.

1.3.1.)- TAMAÑO.- Este es un factor que generalmente tiene importancia en el proceso visual, ya que cuanto más grande es un objeto mas rápidamente puede ser visto. La luz a veces se considera un amplificador, puesto que hace visibles pequeños detalles que no podrían verse con menos luz.

1.3.2.)- CONTRASTE.- Es el color o contraste de luminancia entre el objeto visual y su fondo; los altos niveles de iluminación compensan parcialmente los niveles de bajo brillo.

1.3.3.)- LUMINANCIA.- El brillo depende de la intensidad de luz que incide sobre el cuerpo, dicha intensidad de luz se refleja en dirección al ojo. Cuanto más oscuro es un cuerpo - más iluminación se necesita para conseguir un alto brillo.

1.3.4.)- TIEMPO.- Es un factor importante debido a que la - visión no es un proceso instantáneo, está en función del ni--vel de iluminación que tenemos, para poder observar los deta--lles deseados.

1.4.)- BREVE DESCRIPCION HISTORICA DEL CONOCIMIENTO DE LA LUZ

La respuesta acerca de lo que es la luz ha traído a -- través de la historia varias hipótesis, todas ellas fueron rectificadas tanto lógicamente como experimentalmente. Se describi--rán someramente algunas de ellas.

a) Lo que los filósofos antiguos postulaban era que: -- los rayos visuales eran emitidos por el ojo hacia el objeto que se miraba pero fracasó tanto lógicamente como experimentalmente.

b) A fines del siglo XVII se plantearon dos teorías pa

ra explicar la naturaleza de la luz.

b.1) La teoría de partículas o corpuscular por Newton.

b.2) Teoría Ondulatoria desarrollada por Huygens.

Cada una de éstas teorías trata de explicar las características observadas sobre el fenómeno de la luz. Centrando la explicación en:

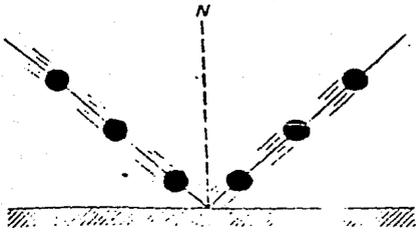
- La Propagación Rectilínea.- La luz viaja en línea recta.
- La Reflexión.- Retorno al medio original cuando la luz incide en una superficie lisa.
- La Refracción.- El cambio de la trayectoria de la luz, cuando ésta entra en un medio diferente.

De acuerdo a la Teoría Corpuscular se consideraba que las partículas de masa despreciables, eran emitidas por las fuentes de luz; cuando entraban al ojo estimulaban este sentido. De hecho uno de los argumentos más sólidos de ésta teoría era la propagación rectilínea.

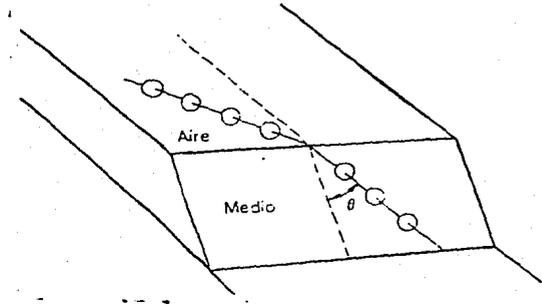
La reflexión y refracción se explicaban también fácilmente, en función de la Teoría Corpuscular como se mues-

tra en las (figuras 1-8 y 1-9).

Partículas perfectamente elásticas de masa despreciable, al rebotar de una superficie, podían explicar la reflexión regular de luz en superficies lisas.



(Fig.1-8) Reflexión

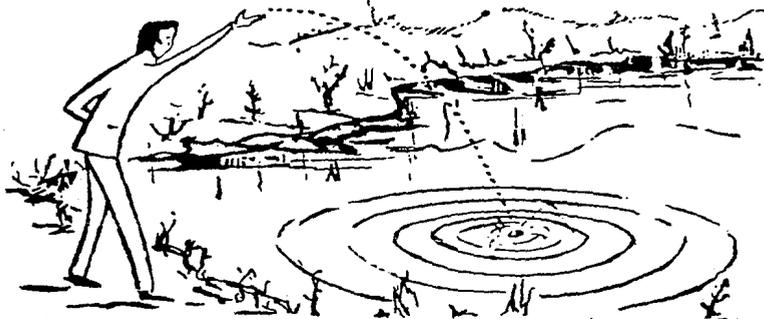


(Fig.1-9) Refracción

La refracción puede ser análoga al cambio de dirección de una pelota al encontrarse con una pendiente. Esta explicación requiere que las partículas viajen mas rápido en el medio de refracción; en tanto que la teoría ondulatoria necesitaba que la luz viajase más lentamente.

Huygens explicó la propagación de la luz en términos del movimiento de perturbación, a lo largo de la distancia entre la fuente y el ojo. Su argumento lo basó en un principio simple, que resulta útil: suponga que se deja caer una piedra en una alberca, ésta origina una perturbación que se

mueve alejándose del punto de impacto como una serie de ondas concéntricas, continuando el proceso aún después de que la - piedra ha llegado al fondo como se muestra en la (figura 1-10)



(Fig. 1-10). Ondas producidas en el agua.

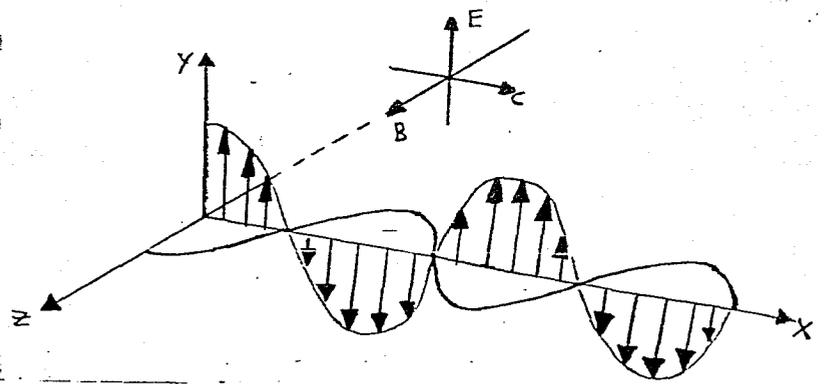
Se pensaba que todos los fenómenos ondulatorios requerian de un medio; a fin de evitar esta contradicción; ya que la luz podía propagarse en el vacío, los físicos postularon la existencia de un éter o medio de propagación en el cual la luz podía viajar.

Huygens concluyó que efectivamente la luz disminuía - su velocidad al entrar en un medio más denso.

En 1845 Michael Faraday estableció la interrelación entre el electromagnetismo y la luz, cuando encontró que la dirección de un haz podía alterarse con un campo magnético fuerte.

James Clerck Maxwell resumió y amplió el conocimiento empírico, llegando a la conclusión de que la luz era una perturbación electromagnética en forma de ondas; así como también explicó que la energía de una onda se reparte de igual manera entre campos eléctricos y magnéticos siendo estos mutuamente perpendiculares.

De interés inmediato es el hecho de que en un campo E varíe con el tiempo, genere un campo B en todas partes perpendicular a éste. (figura 1-11).

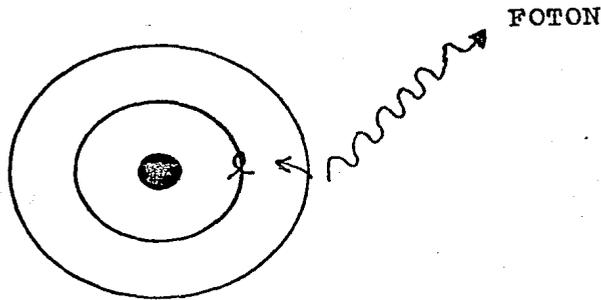


(Fig.1-11) La energía se reparte en igual manera en campos perpendiculares.

TEORIA CUANTICA.- De acuerdo con las ideas de Planck y de Bohr, la luz se produce por radiación de cuantos de energía que se libera en los átomos, cada vez que un electrón regresa a la órbita o nivel de energía del cual había

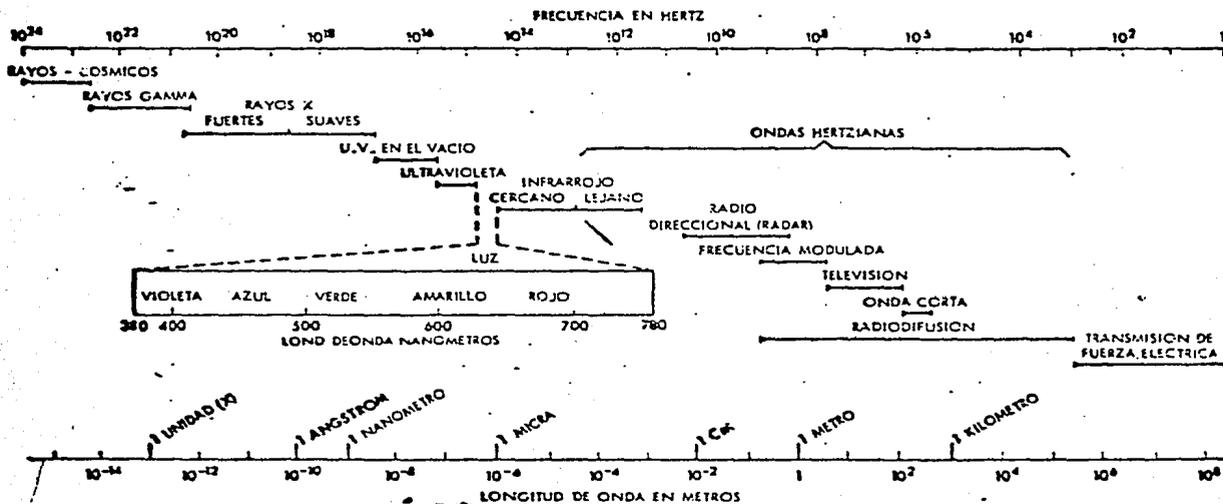
sido desplazado momentaneamente por alguna excitación. Los --
 cuantos que son paquetes de energía, reciben el nombre de fo-
 tones, estos pueden comportarse como partículas y se propagan
 con un movimiento ondulatorio.

Se dice que los átomos están cuantizados cuando se les
 suministra energía por ejemplo en forma de calor (Fig. 1.12).



(Fig.1-12) Al regresar un electrón a su órbita original emite --
 luz.

La energía radiante viaja a la velocidad de 300,000 --
 km/seg., esta energía forma un espectro electromagnético en --
 donde se puede observar que, solo una pequeña parte de este
 corresponde a la luz visible. Una comparación la podemos a--
 preciar en la (Figura 1.13).



(Fig. 1-13) Espectro de Energía Radiante.

La luz se compone de 6 colores que tienen una longitud de onda perfectamente bien determinada (cuadro 1.14).

VIOLETA	AZUL	VERDE	AMARILLO	NARANJA	ROJO
de 380 a 450	a 490	a 560	a 590	a 630	a 780 nm

(Cuadro 1.14) Longitud de onda de los colores

La luz puede producirse de varias formas en las lámparas eléctricas, las mas importantes son:

- Calentando cuerpos sólidos hasta alcanzar su grado de incandescencia.

- Provocando una descarga entre dos placas ó electro-- dos situados en el seno de un gas o vapor metálico.

En cualquier caso la producción de luz es una transformación de energía; sin embargo a pesar de todos los esfuerzos realizados se continúa la búsqueda para llegar a saber con -- certeza lo que es la luz.

CAPITULO II

CONCEPTOS TECNICOS

2.1.).- DEFINICIONES.

Dentro de la iluminación intervienen dos elementos básicos: la fuente productora de luz y el objeto a iluminar.

A continuación se caracterizan los elementos que inciden en la iluminación.

2.1.1.) FLUJO LUMINOSO.

Es la energía radiante de una fuente de luz que produce sensación luminosa por unidad de tiempo, la luz es una forma de energía radiante en movimiento; sin embargo el elemento tiempo puede despreciarse y considerarse comunmente como una magnitud definida.

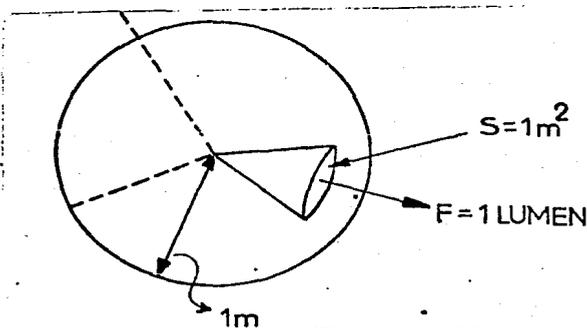
Puede ser tomada en cuenta en relación con la que otras cantidades fluyen como por ejemplo: galones por minuto, metros cúbicos por hora, litros por segundo etc.

El flujo luminoso se representa por la letra ϕ siendo su unidad el lumen.

2.1.2.)- LUMEN.- Es el flujo luminoso de radiación monocromática que se caracteriza por tener una frecuencia de 540×10^{12} hertz y un flujo de energía de $1/683$ W.

También un lumen es el flujo que incide sobre la superficie de un metro cuadrado, donde la totalidad de cuyos puntos sean equidistantes de un metro de la fuente puntual teórica que tenga una intensidad de una candela en todas direcciones.

LUMEN es el flujo emitido en un ángulo sólido de un estereorradián por un manantial luminoso, cuya intensidad es igual a una candela (Fig. 2-1).



(Fig.2-1) Definición de la unidad de Flujo Luminoso.

2.1.3.) INTENSIDAD LUMINOSA.

La intensidad luminosa está siempre referida a una determinada dirección contenida en un ángulo sólido, la intensidad de una fuente de luz es igual a la relación entre el

flujo luminoso contenido en un ángulo expresado en estereorradianes.

La intensidad se expresa como $I = \phi / W$

donde: ϕ - flujo

W - es el ángulo en estereorradianes

La unidad de medición es la candela.

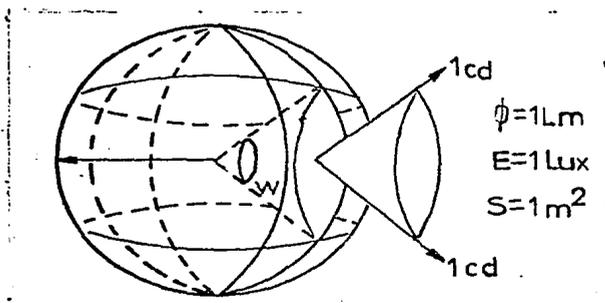
2.1.4.)- CANDELA.- Se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual, que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián.

Una vela de cera tiene en dirección horizontal una intensidad luminosa de aproximadamente una candela.

La diferencia entre lumen y candela reside en que el primero es una medición de flujo independientemente de la dirección.

En una superficie plana el radián se define como el ángulo plano que corresponde a un arco de circunferencia igual al radio.

Dentro de una esfera el estereorradián se define como el ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico cuya superficie es igual al cuadrado de la esfera. (Fig. 2-2).



(Fig.2-2) Ángulo sólido en una esfera.

Las equivalencias entre unidades de intensidad luminosa. Para obtener unidades se recurre a patrones de características bien determinadas que se toman como base para la medición, así tenemos que:

- A) BUJIA HEFNER.- Unidad de intensidad adoptado en Alemania, el patrón primario es una lámpara que quemaba acetato de amilo.
- B) VIOLLE.- Es la intensidad luminosa en un cm^2 a la temperatura de fusión del platino (1700°c).

- C) BUJIA DECIMAL.- Es aproximadamente 1/20 de vio--
lle, equivale a la intensidad lu
minosa de una parafina de 2 cm -
de diámetro y con una llama de -
5cm de altura.
- D) BUJIA CARCEL.- Se utilizaba esta unidad en Fran
cia, el patrón correspondiente e--
ra una lámpara que quemaba aceite
de colza.
- E) BUJIA INTERNACIONAL. En 1909, países como Inglaterra,
Francia y Estados Unidos decidien
ron normalizar la unidad de in--
tensidad luminosa, establecida -
con la ayuda de la intensidad -
de varias lámparas de filamento
de carbón.

	B. HEFNER	B. CARCEL	B. INT.	CANDELA
BUJIA HEFNER	1	0.093	0.90	0.92
BUJIA CARCEL	10.75	1	9.65	9.80
BUJIA INTERNACIO <u>NAL</u>	1.11	0.104	1	1.02
CANDELA	1.09	0.102	.98	1

2.1.5.).- ILUMINANCIA.

La iluminancia es la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie, cuya extensión es la densidad de flujo en un área.

Se define de la siguiente forma $E = \phi / A = \text{lumen/m}^2 = \text{lux}$.

También puede definirse mediante la Ley Inversa de los cuadrados, que consiste en la intensidad de iluminación de una superficie situada perpendicularmente a la dirección de radiación, es directamente proporcional a la intensidad luminosa, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente luminosa y la superficie a iluminar.

La fórmula es:

$$E = \phi / d^2$$

donde: d = distancia de la fuente
a la superficie.

ϕ = lúmenes del Haz.

La unidad de medición es el LUX.

2.1.6.).- LUX.- Es la iluminación que existe en un punto A - situado sobre una superficie, en dirección perpendicular a - un metro de la fuente puntual uniforme de una candela.

Es definido como la iluminación que produce un lumen -- distribuído uniformemente en un metro cuadrado.

2.1.7.)- FOOTCANDLE.- Es la iluminación en una superficie de un pie cuadrado, que recibe uniformemente repartido el flujo - de un lumen.

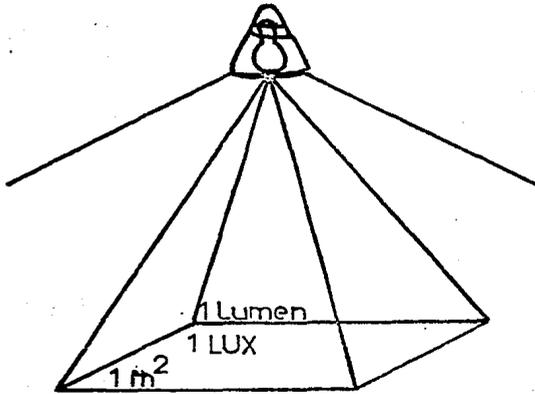
- EQUIVALENCIA DE UNIDADES DE ILUMINANCIA

	FOOTCANDLE	LUX
FOOTCANDLE	1	10.764
LUX	0.093	1

Algunos de los valores de iluminación son:

- Mediodía al aire libre con cielo despejado ---100,000 lux
- Mediodía al aire libre con cielo cubierto --- 20,000 lux
- Buen alumbrado Público -----20 a 40 lux
- Noche de Luna llena ----- 0.25 lux
- Noche de Luna Nueva (Las de las Estrellas)----- 0.01 lux

El ojo tiene una adaptación que oscila de 100,000 lux a 0.01 lux siendo prácticamente estos los límites extremos.

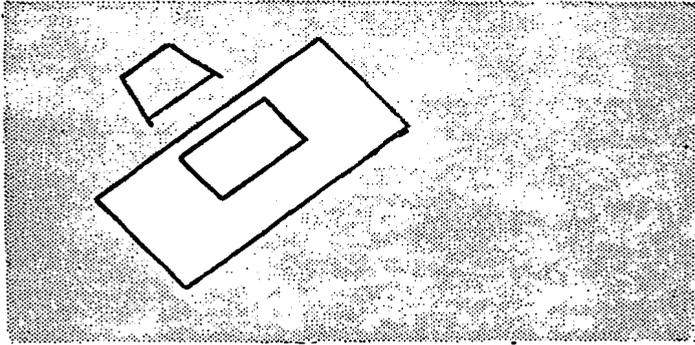


(Fig.2-3) Unidad de Iluminancia Lux.

2.1.8.)- LUMINANCIA O BRILLO FOTOMETRICO.

Es la intensidad luminosa reflejada por una superficie en una dirección dada por unidad de área de la misma.

La luminancia es lo que produce en el órgano visual la sensación de claridad, pues la luz no se hace visible hasta que es reflejada por los cuerpos. La mayor o menor claridad con que se distinguen los objetos dependen de su luminancia. (fig. 2-4).



(Fig.2-4) Pueden observarse en la figura diferentes grados de luminancias.

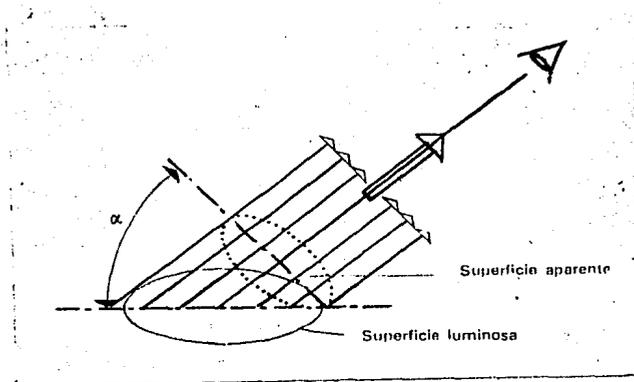
Las unidades se expresan mediante dos formas, en candelas por unidad de superficie o lumen por unidad de superficie.

- a) STILB.- Es cuando una superficie emite o refleja luz del orden de una candela por centímetro cuadrado.
- b) NIT.- Es cuando se refleja luz con una intensidad de una candela por metro cuadrado.
- c) LAMBERT.- Es la luminancia o brillo de una superficie que emite un lumen por centímetro cuadrado.
- d) LAMBERT-PIE.- Se tiene cuando una superficie perfectamente difusora emite un brillo uniforme de un lumen por pie cuadrado.

La luminancia se expresa mediante $L=I/S \cos$

donde : I =Intensidad luminosa
 $S \cos$ =Superficie aparente

Esta superficie aparente puede observarse en la (fig. 2-5).



(Fig.2-5) Luminancia directa de una superficie luminosa.

ALGUNOS VALORES APROXIMADOS DE LAS LUMINANCIAS SON:

Sol -----	150,000 cd/cm^2
Cielo Despejado -----	0.3 a 0.5 cd/cm^2
Cielo Cubierto -----	0.03 a 0.1 cd/cm^2
Luna -----	0.25 cd/cm^2
Llama de una vela de cera --	0.7 cd/cm^2
Papel blanco con iluminancia de 1000 lux -----	250 cd/cm^2

EQUIVALENCIAS ENTRE UNIDADES DE LUMINANCIA

	STILB	NIT	LAMBERT	FOOT-LAMBERT
STILB	1	10^4	3.14	2.900
NIT	10^{-4}	1	3.14×10^{-4}	0.29
LAMBERT	0.318	3183	1	930
FOOT-LAMBERT	3.43×10^{-4}	3.43	1.08×10^{-3}	1

2.1.9.) .- RENDIMIENTO LUMINOSO.

Es una representación del flujo que emite la lámpara - por unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención.

Se representa por la letra η y se define como:

$$\eta = \phi/w$$

donde ϕ = flujo en lumenes

w = potencia en watts

Si se lograra fabricar una lámpara sin ninguna pérdida de energía podría obtener a 555 nm un rendimiento luminoso de 683 Lm/w, pero hasta el momento sólo se ha podido llegar a producir 183 Lm/w. Una tabla comparativa es la siguiente:

<u>TIPO DE LAMPARA</u>	<u>POTENCIA</u>	η (Lm/W)
INCANDESCENTE Estandar de 40 W	40	11
Fluorescente 40 W	40	80
HALAGENUROS METALICOS 400 W	300	78
SODIO A ALTA PRESION 400 W	400	120
SODIO A BAJA PRESION 180 W	180	183

2.1.10). CANTIDAD DE ENERGIA LUMINOSA.

De forma análoga a la energía eléctrica que se determina por la potencia eléctrica entre la unidad de tiempo (KWH), la cantidad de luz puede determinarse como el flujo luminoso entre la unidad de tiempo.

La cantidad de luz la podemos representar por Q siendo su unidad el lumen x Hr.

de aquí que

$$Q = \phi \times t$$

Es de interés saber cual es la cantidad de luz que emite una lámpara durante su vida útil y así determinar sus costos economicamente.

2.2.) . EL COLOR.

La luz produce una serie de estímulos en la retina y - unas reacciones en el sistema nervioso. El color por lo tanto es una interpretación psicofisiológica del espectro electro γ - magnético visible.

Las sensaciones dependen de la clase de composición espectral y de las propiedades de reflexión, refracción y transmisión del cuerpo iluminado.

El que no podamos ver directamente los componentes cromáticos, se debe a que el cerebro actúa bajo una serie de estímulos espectrales diferentes ; obteniéndose así una especie de efecto aditivo, éste efecto es lo contrario del proceso auditivo en el cual el cerebro puede captar perfectamente un tritono distinguiendo la diferente intensidad.

El color como tal no existe ni se produce en los cuerpos, estos solamente tienen unas determinadas propiedades de reflejar, transmitir o absorber los colores que de la luz reciben.

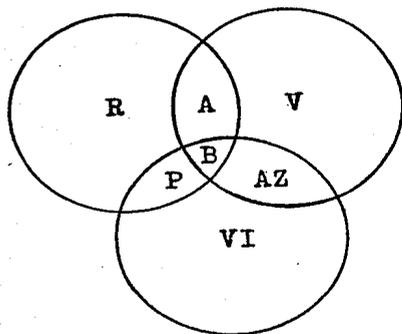
La impresión del color de un cuerpo depende por tanto de la composición espectral de la luz con la que se ilumina γ y de las propiedades de ella; así por ejemplo si se ilumina γ

con luz monocromática de color amarillo una superficie blanca reflejará esta luz.

A los espectros que no presentan interrupción como el de la luz de día o lámparas incandescente se les llama continuos.

Sin embargo a los que presentan interrupciones se les llama discontinuos tal como sucede con el espectro que presentan las lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio color corregido.

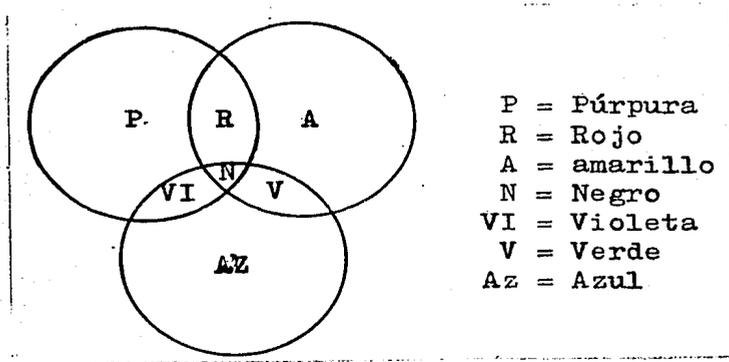
Se puede obtener una mezcla de colores aditiva y una sustractiva; por ejemplo si se sobreponen parcialmente tres círculos de color rojo, violeta y verde al combinarse los tres elementos obtenemos un color blanco. En una mezcla aditiva obtenemos colores mas claros (FIG. 2-6).



R = Rojo
 A = amarillo
 V = verde
 P = Púrpura
 AZ = Azul
 VI = Violeta

(Fig. 2-6) Mezcla de colores aditivos.

Si se tiene una mezcla de colores sustractivos, el color mixto obtenido es siempre mas oscuro que cualquiera de los componentes. (FIG. 2-7).



(Fig. 2-7) Mezcla de colores Sustractivos.

2.2.1.) . EFECTOS PSIQUICOS.

El color del medio ambiente produce en el observador reacciones psíquicas o emocionales, de aquí el interés de -- combinar en forma adecuada éstos.

Una de las primeras sensaciones es la de calor o frío por lo que se hable de colores fríos y cálidos.

Un color será más cálido o mas frío según sea su ten-

dencia hacia el rojo o azul respectivamente.

Los colores cálidos son dinámicos y excitantes, producen una sensación de proximidad; mientras que los fríos calman y descansan.

Así mismo los colores claros animan y dan sensación -- de ligereza, mientras que los oscuros deprimen y dan sensación de pesadez.

La armonía se produce mediante la elección de una combinación de colores, cuyo número es prácticamente infinito.

2.2.2.) . RADIACIONES DEL CUERPO NEGRO.

Cuanto mas oscuro es un cuerpo mas radiaciones absorberá previamente, por lo tanto mejor emisor de radiaciones -- será. Los cuerpos llamados negros absorben casi totalmente las radiaciones, serán estos los que emitan mayor radiación.

El color del cuerpo negro cambia a medida que aumenta su temperatura, poniendose primero rojo oscuro, naranja, amarillo y finalmente blanco azulado y azul, esto ha servido para clasificar diferentes tonalidades de color regidas por la temperatura.

2.2.3.). TEMPERATURA DEL COLOR.

La temperatura del color es la temperatura a la cual tiene que calentarse un cuerpo negro, para que nos de un manantial luminoso que provoque la misma impresión de color en el órgano visual que el manantial luminoso considerado.

Hay que tener en cuenta que la temperatura del color no es una medida de la temperatura real en la lámpara, ya que sólo define el color.

Podemos decir que el color de la llama de una vela es de 1800°K.

Las lámparas de mercurio, sodio y las mas intensamente coloreadas no se igualan con el cuerpo negro a ninguna temperatura. En las fluorescentes blancas sólo pueden considerarse como aproximaciones.

El dato de temperatura de color se refiere al color de la luz, no a la composición espectral que resulta decisiva para la producción fiel de los colores.

2.3.) LAMPARAS (PRINCIPIOS, FUNCIONAMIENTO Y CARACTERISTICAS).

La luz se compone de radiaciones electromagnéticas como anteriormente se vio. estas radiaciones pueden producirse mediante dos causas principales.

- a). Temperatura en el cuerpo radiante, fenómeno denominado termorradiación.
- b). Por cualquier otro medio (descarga en gases), fenómeno denominado luminiscencia.

2.3.1.) . CONDICIONES NECESARIAS DE UNA FUENTE DE LUZ.

Para que las fuentes de luz puedan trabajar con un alto rendimiento, es necesario que no existan en ellas ninguna radiación invisible, ultravioleta o infrarroja, tomando en cuenta también la radiación térmica.

Por otra parte la luz debería ser blanca como la luz del día y tener una buena reproducción cromática, lo cual exige un espectro continuo que contenga todos los colores.

La fabricación de fuentes de energía luminosa tiene que permitir la diversidad de potencias, para escoger en función del uso que se le quiera dar.

Desde el punto de vista luminotécnico, la luminancia interviene en el deslumbramiento y en la efectividad de los sistemas ópticos. Las fuentes de luz desnudas no deben tener una luminancia elevada con el objeto de mantener dentro de sus límites el deslumbramiento, aunque hay que tener en cuenta el tipo de aplicación.

Las fuentes donde es necesario una concentración fuerte de luminancia es en los proyectores, radiadores intensivos y faros, ya que es donde interesa que se tenga un mayor alcance en metros. Además de tener una concentración y dirección más exactas por ser la fuente más puntual.

Es importante hacer notar que la luminancia nunca puede aumentarse mediante algún sistema óptico.

Las radiaciones no son iguales en todas direcciones del espacio, son afectadas por la posición del casquillo, soportes y estructura del luminario.

Las curvas de distribución son esenciales para proyectar instalaciones de alumbrado, así como para diseño de luminarias, puesto que el sistema óptico ha de ajustarse de tal forma que la luz sea dirigida al punto de máxima necesidad.

2.3.2.) . EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACION.

Es importante tener en cuenta la protección humana y del medio ambiente en la creación o fabricación de fuentes luminosas, para que no emitan radiaciones que puedan ser peligrosas que produzcan consecuencias inmediatas o a largo plazo.

Algunas descargas de gases principalmente las de mercurio contienen un gran porcentaje de radiación ultravioleta la cual puede ser:

- A). Onda Larga con longitud de onda de 315 a 380 nm.
- B). Onda Media con longitud de onda de 280 a 315 nm.
- C). Onda Corta con longitud de onda de 100 a 280 nm.

El efecto permanente de las longitudes de onda media y corta producen quemaduras en la piel desnuda y conjuntivitis en los ojos desprotegidos.

Puede evitarse este efecto mediante el uso de determinadas clases de vidrio que absorben la radiación crítica.

La energía ultravioleta tiene cuatro aplicaciones de interés como son:

- A). La activación de sustancias fluorescentes y fosforescentes.
- B). La producción de vitamina D y eritemas.
- C). La destrucción de bacterias y gérmenes.
- D). La desodorización.

La región se divide en tres bandas más o menos superpuestas, la radiación que se extiende desde el límite de onda corta del espectro visible hasta aproximadamente 330 nm es efectiva para activar una amplia variedad de sustancias fluorescentes y fosforescentes; la mayoría de las cuales presentan una sensibilidad cuando están a 365 nm.

Las longitudes de onda comprendidas entre 280 y 320 nm, en la banda de los eritemas producen oscurecimiento de la piel y el bronceado solar.

Las radiaciones de la banda bactericida están comprendidas entre 185 y 300 nm, las cuales son mortales para los microorganismos. Esta longitud de onda también genera una activación en los materiales fluorescentes de las lámparas que llevan el mismo nombre.

Las radiaciones de longitud de onda por debajo de 200 nm generan ozono que tiene propiedades bactericidas y deso-

rizantes.

Las radiaciones ultravioleta matan las bacterias, gérmenes de moho y otros microorganismos en el aire. Sin embargo estas no penetran en la mayoría de las sustancias como los alimentos o tejidos de aquí que no pueden utilizarse para esterilizaciones.

2.3.3.) . RADIACIONES INFRARROJAS.

La región del espectro inmediata a la banda visible -- comprendida entre 780 nm y 1500 nm se conoce como infrarroja.

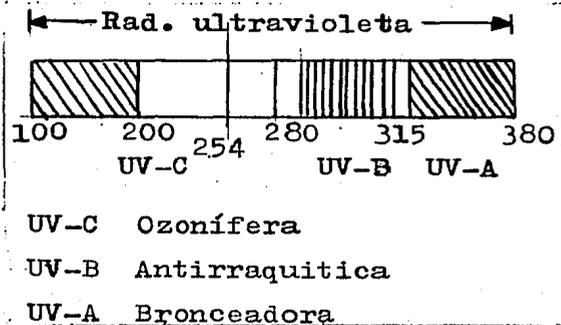
Estas radiaciones no son visibles para el ojo humano.

Existen lámparas especiales para aplicaciones industriales y terapéuticas que emiten rayos en la región del infrarrojo.

Las radiaciones se conocen por la intensa sensación de calor que producen, motivo por el cual se llaman a veces caloríficos.

Las lámparas infrarrojas son esencialmente las mismas que las proyectadas para fines de iluminación, la diferencia principal reside en la temperatura del filamento, trayendo como consecuencia una larga vida y reducción considerable del -

brillo. (Ver FIG. 2-9). Radiaciones Ultra violeta.



2.3.4.). VIDA MEDIA Y VIDA UTIL.

La vida media es un concepto estadístico que representa la media estadística de la duración en horas de una fuente luminosa, considerando un grupo suficientemente representativo del modelo y tipo.

La vida útil es una magnitud relacionada a la práctica dada igualmente en horas, al cabo de las cuales el flujo luminoso de una instalación de alumbrado ha descendido a un valor tal, para el que la fuente de luz no es rentable aunque este funcionando.

Los factores que influyen en la determinación de la vida útil de las lámparas de una instalación son:

- A). Reposición de las lámparas individualmente o en grupo.

- B). Tiempo de utilización anual.
- C). Costos de mantenimiento o reposición.
- D). Costos de energía.
- E). Condiciones de funcionamiento como tensión de alimentación, frecuencia de la línea y temperatura -- del medio ambiente.
- F). Pérdida de luz admisible con respecto al nivel de iluminación recomendado.

En las lámparas incandescentes se cuenta con valores - de vidas medias bajas, que corresponden al grupo de alumbrado general, fotografía y proyección siempre y cuando esten en -- condiciones normales de servicio.

Las lámparas de descarga tienen valores de vida muy al tos, pero no resultaría útil el aprovechar su capacidad hasta el final ya que el flujo luminoso es muy bajo.

2.3.5.) . COSTO DE ALUMBRADO.

En una instalación de alumbrado, el costo específico - por cada lámpara instalada se puede calcular conociendo el -- costo de instalación por lámpara y el flujo luminoso de la -- lámpara, tratando que éste sea lo más bajo posible.

Este costo no dice todavía nada respecto a si la instalación resulta o no económica, ya que no se han tomado en --- cuenta sus horas de vida o duración útil.

El criterio se basa en el costo efectivo de la luz producida, expresada en pesos/millones de lumenes por hora.

Por lo tanto es necesario calcular primeramente el -- costo total por lámpara instalada funcionando y el resultado-- dividirlo entre el trabajo luminoso producido en la duración-- útil de la lámpara.

Los datos para el cálculo del costo son los siguientes:

- I). Tipo de Lámpara.
- II). Flujo luminoso de la lámpara en lumenes.
- III). Duración útil en horas.
- IV). Consumo de potencia en Watts con su respectivo balastro si lo tiene.
- V). Precio del KWH en pesos.
- VI). Costo de la instalación por lámpara en pesos.

Para el cálculo se tiene en consideración:

VII). El consumo total de energía en KWH es $\frac{(III) \times (IV)}{1000}$

VIII). Costo total de la energía consumida en pesos es:

(V) x (VII).

IX). Costo total por lámpara instalada y en funcionamiento

(VI) + (VIII)

X). Trabajo total luminoso por lámpara.

$\frac{(II) \times (III)}{10^6}$ (Mega-lumen-hora)

XI). Costo efectivo de la luz producida.

$\frac{IX}{X}$ (pesos/Mega-lumen-hora).

2.3.6.) . TENSION DE ALIMENTACION E INFLUENCIA EN LA LINEA.

Una fuente de luz que se emplee en grandes cantidades, es necesario que deba fabricarse a las tensiones normalizadas mas usuales como 6,12,24,127,220,440, volts.

En lámparas incandescentes fácilmente se obtienen estas características, porque puede cambiarse la resisten-

Óhmica de acuerdo a la tensión.

En las lámparas de descarga existe un límite inferior de tensión que corresponde a la tensión mínima de funcionamiento, aunque para el arranque se necesitan tensiones superiores de algunos cientos o miles de volts.

En la actualidad se necesita una gran cantidad de lámparas destinadas a aviones, barcos, automóviles, etc. Se requiere que las luminarias funcionen a tensiones bajas de corriente continua, los valores normales son 6,12,24 y 28 volts.

La instalación de cualquier fuente de luz exige que no tenga una gran influencia en el funcionamiento de la línea de alimentación, por ejemplo:

En las lámparas incandescentes, ésta repercusión queda limitada a una sobreintensidad mas o menos elevada en el momento de la conexión debido a la pequeña resistencia del filamento en frío.

En las lámparas de descarga como las fluorescentes y de vapor metálico, ocurre que generalmente operan en conexión con una inductancia representando para el circuito una resistencia inductiva, se produce como consecuencia un desfase entre la tensión y la intensidad, dando lugar a que se obtenga-

un factor de potencia bajo lo que supone una carga adicional en la red la cual debe ser compensada, la compensación puede realizarse mediante la conexión en paralelo de un condensador apropiado.

Una variación de tensión en las lámparas incandescentes afecta notablemente la duración y la temperatura del color, en las lámparas de descarga afecta las relaciones de presión del arco y con ello las condiciones de descarga.

2.3.7.) EFECTO ESTROBOSCOPICO.

En las fuentes luminosas que funcionan con corrientes alternas, se encuentra que cesan su emisión luminosa cada vez que la corriente pasa por el punto cero, si la frecuencia de la línea es de 60 Hz habrá 120 instantes de oscuridad por segundo.

En las lámparas incandescentes la alta inercia térmica que tienen en el filamento, hace que pase desapercibida esta situación para el ojo.

Sin embargo en las lámparas de descarga el ojo no es capaz de apreciar las variaciones tan rápidas de la luz, pero cuando se iluminan zonas en las que se realizan movimientos rápidos, se observará que estos movimientos aparentemen-

te son intermitentes o no existen, este fenómeno se conoce como efecto estroboscópico.

Este puede ser disminuido mediante montajes donde se tenga una buena distribución en la línea trifásica, o por medio de los balastos adecuados en las lámparas fluorescentes.

2.3.8.) INTERFERENCIAS RADIOELECTRICAS.

En todas las fuentes donde el principio para producir luz es una descarga en el seno de un gas se producen radiaciones, que provocan interferencias en los receptores de radio y televisión, debido a las ondas de alta frecuencia que se originan por las oscilaciones del arco.

Las ondas de alta frecuencia pueden causar interferencias por:

- I). Radiación directa de la lámpara a la antena del receptor o televisor.
- II). Radiación de los conductores de alimentación de la lámpara a la antena del receptor o televisor.
- III). Transmisión directa desde la lámpara fluorescente al receptor a través de la línea de alimentación.

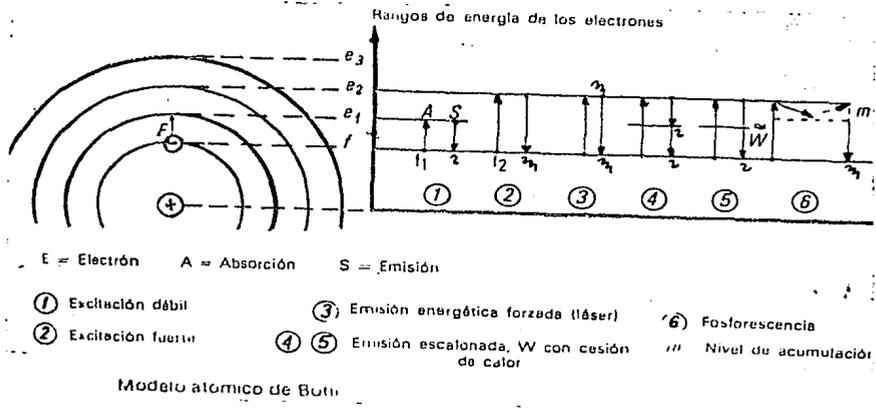
En los primeros casos de referencia se elimina si la lámpara y los conductores están a bastante distancia del receptor; de lo contrario hay que recurrir al apantallamiento de la antena, a la instalación de los conductores de alimentación de la lámpara bajo tubo metálico o a conectar la lámpara y el receptor respectivamente a puntos distintos de la red de alimentación.

El tercer caso se evita empleando filtros especiales constituidos por condensadores adecuados.

2.3.9.) . LUMINISCENCIA.

Con este nombre se conoce a aquellos fenómenos luminosos cuya causa no obedece exclusivamente a la temperatura del cuerpo. Dichos fenómenos se caracterizan porque solo -- ciertas partículas de los átomos de la materia, es decir, -- sus electrones son incitados a producir radiaciones electromagnéticas.

Si observamos la (figura 2-10) tenemos representando el modelo atómico de Bohr.



(FIG 2-10) Modelo de Bohr.

Según esto cada átomo está formado por un núcleo atómico positivo y su envoltura de electrones distribuidos en capas, entre el número de cargas positivas y negativas, generalmente existe un equilibrio, es decir que el número de cargas positivas es igual al de las negativas.

Si desde el exterior se suministra al átomo determinada cantidad de energía, el electrón se excita y es desplazado de su órbita normal a la siguiente -representado por las líneas e_1, e_2, e_3 -. Tras un breve tiempo, el electrón salta a su posición inicial cediendo la energía absorbida en radiación electromagnética.

Podemos deducir que mientras mayor es la energía suministrada mayor será la radiación.

Mediante la Teoría de los Cuantos se demostró que; -- los distintos elementos químicos al ser excitados no emiten un espectro continuo debido a la estructura de sus capas --- electrónicas, sino solamente longitudes de onda muy particulares conocidas : dentro del espectro electromagnético como - espectro de líneas, de aquí por ejemplo el vapor de sodio es tá compuesto por una doble línea amarilla cuyas longitudes - de onda corresponden a 589 a 589.6 nm.

2.3.10.) DESCARGA ELECTRICA EN UN GAS.

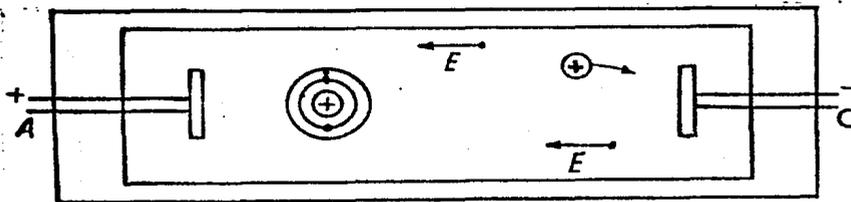
En todos los gases que contienen las lámparas de descarga, además de los átomos de gas neutrales, se encuentran cargas eléctricas libres bien por naturaleza o desprendidas del cátodo de ésta.

Si en un tubo. de descarga se aplica una corriente -- continua al ánodo A y al cátodo C, se crea entre A y C un -- campo eléctrico, que acelerará las cargas negativas y las precipita hacia el ánodo. Al alcanzar un electrón una determinada velocidad posee una energía cinética suficiente para ex citar un átomo de gas en la forma descrita. Si la velocidad de esta partícula (electrón), es muy grande puede provocar -

el desprendimiento de electrones de la corteza atómica; con lo que se obtiene un ión positivo conociéndose esto como ionización por choque. De esta manera se aumenta torrencialmente la corriente si no se limita por un estabilizador.

Junto con los electrones libres, se encuentran los iones positivos que se desplazan en sentido contrario a los primeros, aunque debido a su pequeña velocidad no pueden provocar ninguna excitación, sino por el contrario, transcurrido un breve espacio de tiempo toman a cambio un electrón.

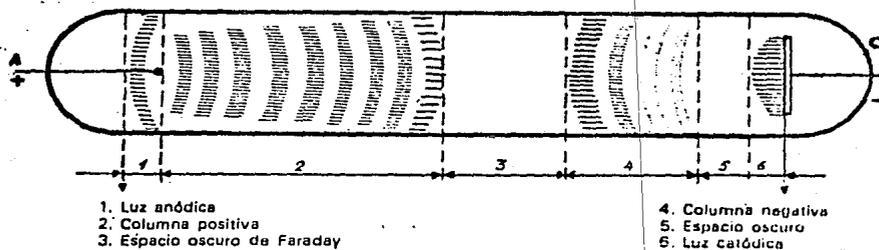
Dependiendo del gas noble o vapor metálico con que se llene el recipiente de la lámpara, se obtendrán espectros de línea o colores de luz determinados. Esto sucede en el espacio comprendido entre los dos electrodos. (FIG. 2-11).



Tubo de descarga de gas.

(FIG. 2-11) Descarga en un Gas)

El volumen de un gas forma una columna de descarga gaseosa, pero no en toda ella se produce luz, se pueden distinguir varias zonas: la mayor de éstas la que recibe el nombre de Luminiscencia positiva que es donde realmente se produce la luz. La manifestación luminosa del cátodo junto con la zona próxima al mismo se denomina efluviio negativo: (Ver FIG. 2-12). Distribución de zonas luminarias en un tubo de descarga.



Distribución de zonas luminosas en un tubo de descarga de gas

Las condiciones de descarga eléctrica en el seno de un gas, dependen fundamentalmente de la presión, se pueden distinguir tres tipos de descarga:

I. Descarga de baja presión:

II. Descarga de alta presión.

III). Descarga de muy alta Presión.

Cuanto mayor es la presión, las líneas espectrales se ensanchan formando bandas mayores, lo que hace mejorar el as
pecto cromático.

Cierto es que las presiones más altas requieren de --
tensiones de encendido mayores.

En las lámparas de vapor metálico se requiere primera
mente vaporizar el metal, que en frío se encuentra en estado
sólido o líquido, por ello e llenan estas lámparas con un -
gas noble, -que después de efectuada la conexión- es el pri
mero que se inflama suministrando el calor necesario para la
vaporización del metal.

Las lámparas que pueden utilizarse para el alumbrado-
de exteriores debido a su alto rendimiento luminoso son:

- A). Lámparas de Vapor de mercurio.
- B). Lámparas de luz mezcla.
- C). Lámparas de Halogenuros Metálicos.
- D). Lámparas de Vapor de sodio a baja presión.
- E). Lámparas de Vapor de sodio a alta presión.

2.3.11). LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO.

En las lámparas de vapor de mercurio el gas es mercurio vaporizado, que a la temperatura ambiente es un líquido - que puede verse formando pequeñas gotas en la superficie interior de la lámpara apagada.

La parte esencial de la lámpara es el tubo de descarga donde se produce la descarga, este tubo debe tener un elevado punto de fusión, ya que la presión del vapor -se consigue aumentando la temperatura-, por lo que se construye de cuarzo.

En los extremos la lámpara tiene dos electrodos principales de wolframio impregnados de un material emisor de electrones y un electrodo de encendido auxiliar que se conecta a través de una resistencia óhmica de alto valor.

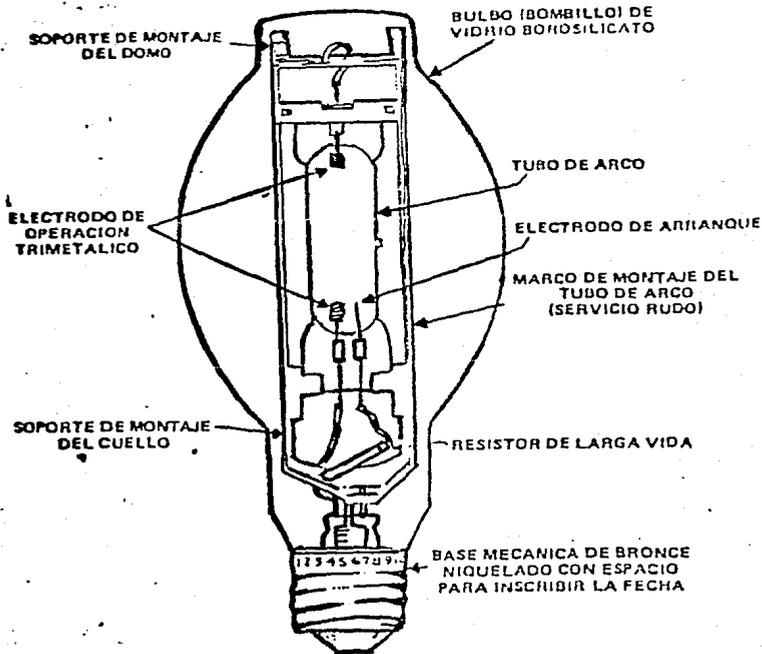
En el interior del tubo, se tienen unos cuantos miligramos de mercurio puro dosificados exactamente y gas argón -- para facilitar el encendido.

Se cuenta con una ampolla exterior, que ofrece al tubo de descarga un aislamiento térmico que evita la oxidación-atmosférica de las partes metálicas.

El espacio comprendido entre el tubo de descarga y la-

ampolla está relleno de un gas neutro (nitrogeno + argón), a una presión inferior a la atmosférica para evitar que salte el arco entre las partes metálicas.

En las lámparas fluorescentes de mercurio, a veces esta puesto en la parte inferior con un recubrimiento de fósforo blanco o vanadato de itrio, el cual convierte la energía ultravioleta que irradia la lámpara en radiaciones rojas para corregir el espectro luminoso.



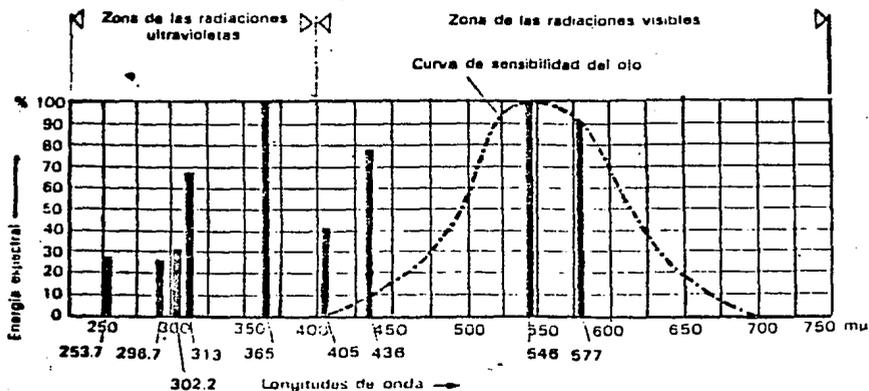
(FIG. 2-13) Constitución de una lámpara de mercurio

Al encender la lámpara primero se establece un campo eléctrico entre el electrodo de encendido y el principal adyacente, provocándose una emisión luminosa que trae como consecuencia una descarga local, ésta ioniza el argón haciéndolo conductor y disminuyendo la resistencia entre los electrodos hasta un valor determinado que permite que salte el arco. El calor vaporiza el mercurio que ahora actúa como conductor. A medida que la temperatura va aumentando en el tubo de descarga, aumenta la presión y al mismo tiempo la potencia del flujo luminoso.

El arco de descarga presenta una resistencia negativa, por lo que debe efectuarse su conexión a través de aparatos de alimentación adecuados.

El arco de mercurio produce un efecto lineal que tiene líneas intensas en la zona visible y ultravioleta, la distribución varía mucho con la presión a la que opera el arco, ya que cuando se aumenta la presión tenemos la aparición de líneas en el espectro de 405 nm (violeta), 436 nm (azul), 546 nm (verde), 577 y 579 nm (amarillo), carece de radiaciones rojas de aquí que se tenga un color blanco azulado.

La adición de fósforo corrector da lugar a importantes cambios en la distribución espectral de la lámpara (FIG. 2-14).



(FIG. 2-14) Composición Espectral de una lámpara de Mercurio

Las lámparas de mercurio tienen una duración útil, -- larga y un elevado flujo luminoso, éste se reduce debido al ennegrecimiento gradual del tubo de descarga, por el depósito de material que emiten los electrodos, generalmente se -- considera una vida media de 24,000 h.

La emisión de las lámparas de doble bulbo no se ven -- afectadas de modo apreciable por la temperatura ambiente. Sin embargo para asegurar el encendido de bajas temperaturas, se provee de reactancias con una tensión mayor a circuito ---- abierto.

La temperatura de trabajo es importante, ya que el -- efecto de calor es en parte función del tiempo y cuanto más-

larga es la vida, mayor será la posibilidad de ser dañada -- por las altas temperaturas.

La excesiva temperatura en el bulbo y en el casquillo, puede ocasionar la inutilidad a causa de: un reblandecimiento del cristal, daño en el tubo de cuarzo por debilitamiento en la soldadura, corrosión de la base ó hilos de toma. Por ello deberá evitarse el uso de cualquier equipo reflector -- que concentre el calor.

Las lámparas de mercurio no pueden reencenderse, debido a que después de funcionar un tiempo éstas requieren tomar nuevamente condiciones iniciales y tener un valor de presión más bajo.

Las aplicaciones de este tipo de lámparas son amplias se utilizan por un elevado rendimiento luminoso y larga vida, además de una aceptable reproducción cromática. Se emplea en alumbrado público, instalaciones industriales, naves de fabricación, gimnasios, oficinas de techo alto, estaciones terminalés de transportes, etc.

2.3.12.) . LAMPARAS DE LUZ MEZCLA.

Las lámparas de luz mezcla son una combinación de la lámpara de vapor de mercurio y la lámpara incandescente, --

siendo esto un intento para corregir la luz azulada de las -- primeras.

Esta formada por la inclusión dentro de la misma ampolla de un tubo de descarga de vapor de mercurio, con un filamento incandescente. La ampolla esta llena de gas inerte..

Se ha conseguido no sólo mejorar el color de la luz, - una mejor reproducción cromática, sino también un mayor rendimiento luminoso y una vida útil prolongada.

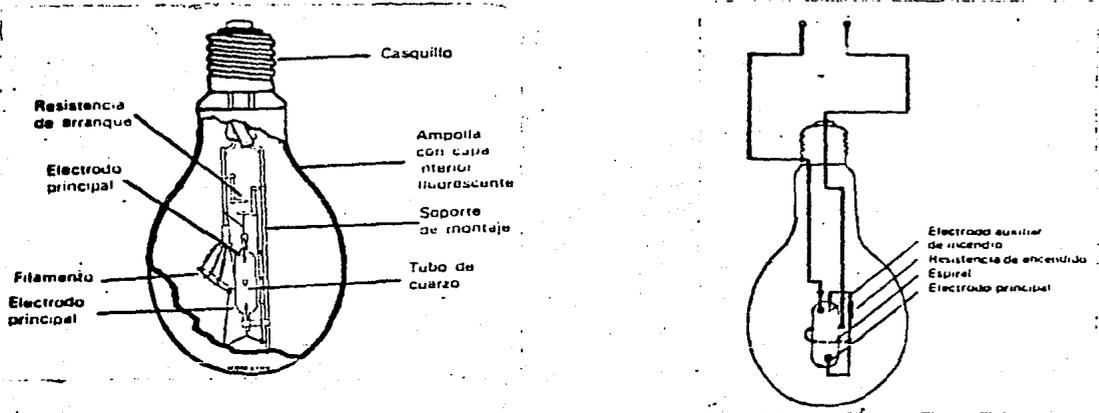
Una característica es que se pueden conectar directamente a la red sin necesidad de balastro, ya que el filamento actúa como una resistencia estabilizadora de la descarga de vapor de mercurio.

Al conectar la lámpara a la red de alimentación, se -- inicia el proceso de encendido común de una lámpara de mercurio, en ese instante el filamento luce produciendo un flujo luminoso muy superior a su valor debido a que toda la tensión de la red esta conectada a sus extremos, a medida que el tubo de descarga va aumentando el flujo disminuye debido a la tensión.

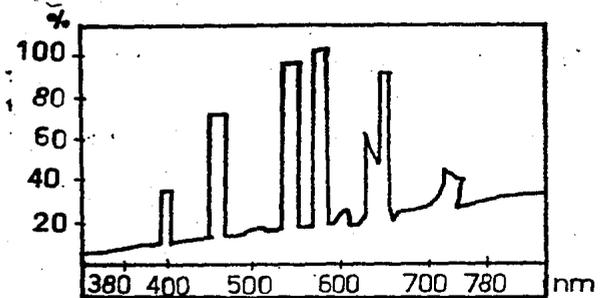
La vida útil de estas lámparas esta en función de la - depreciación del flujo luminoso y la duración correspondien-

te. Las lámparas se utilizan en el alumbrado de interiores y exteriores; en exteriores para alumbrado en calles, plazas, vías de comunicación; en interiores en naves de fábricas, salas de máquinas, etc.

Al poder ser conectadas directamente a la línea sustituyen con gran ventaja a las incandescentes.



(FIG. 2-15) Constitución y Conexión de una lámpara de luz mezcla.



(FIG. 2-16) Distribución espectral de una lámpara de luz mezcla.

2.3.13.) . LAMPARAS DE HALOGENUROS METALICOS.

La construcción de las lámparas es similar a las de vapor de mercurio, el recipiente de descarga es de cristal de cuarzo de forma tubular, con un electrodo de wolframio en cada extremo, se tiene recubierto cada electrodo de un material emisor como óxido de torio.

Se hace llegar la corriente hasta los electrodos, el tubo de cuarzo tiene en su interior mercurio, yoduro tálico, uno o varios yoduros de tierras raras como dysprosio (Dy), holmio (Ho), tulio (Tm) y argón a una presión de 300 torr como gas de arranque.

Los extremos del tubo detrás de los electrodos, están cubiertos por una capa exterior de óxido de circonio, que sirve como estancador térmico al ser estos los puntos más fríos.

Cuando la lámpara esta funcionando, el tubo de descarga según la potencia opera a una temperatura de 800°C a 1000°C a esta temperatura los yoduros de la tierra como vapores saturados a una presión 10^{-3} a 10^{-2} atmósfera, están por encima de la fases líquida sin llegar a gasificarse, mientras todas las demás sustancias ya se evaporan completamente.

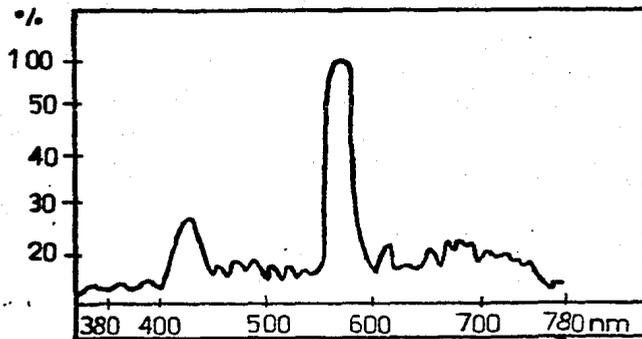
La ampolla que recubre el tubo de cuarzo se llena de -

nitrógeno, éstas lámparas están dispuestas para ser conectadas en serie con un balastro limitador.

Debido a los halogenuros la tensión de encendido es elevada necesitando del empleo de un cebador con tensiones de choque de 1.5 a 5 KV, de esta forma se garantiza el encendido de las lámparas desde -25°C hasta 100°C .

Para el reencendido inmediato es necesario proveer portalámparas con tensiones de choque de 35 a 60 KV.

Tienen una reproducción cromática mucho mejor que la lámpara de vapor de mercurio como se muestra en la figura 2-17.



(FIG. 2-17) Distribución Espectral Relativa de las Lámparas de Halogenuros.

Se utilizan en donde se requiere un elevado rendimiento luminoso, alta temperatura de color y una excelente reproducción cromática, se adaptan perfectamente a las exigencias del cine y la televisión, en escenarios al aire libre, estudios y campos deportivos.

2.3.14.) LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION.

Las lámparas de vapor de sodio a baja presión, están constituidas de un tubo de vidrio en forma de U, el cual se encuentra dentro de la ampolla de vidrio tubular que le sirve de protección mecánica y térmica.

Como el sodio ataca al vidrio de la pared interna del tubo de descarga, está tratado químicamente.

En la pared interior de la ampolla exterior, se ha incluido una capa de óxido de estaño u óxido de indio, lo que ha permitido que se reflejen más del 90% de las radiaciones infrarrojas emitidas.

En los extremos se encuentran dos electrodos de filamento de wolframio, en cuyos intersticios se ha depositado un material emisor (óxido de Torio), además se contiene en el interior del tubo Neón -que favorece el encendido de la lámpara-, una cantidad de sodio condensado (FIG. 2-18).

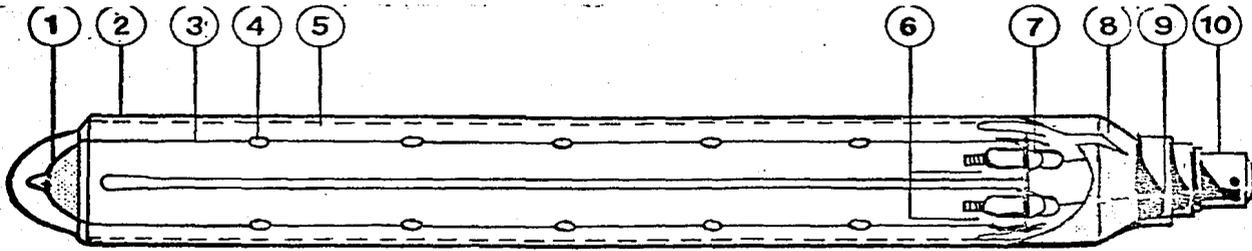


fig. 3

1. Aislamiento curvado
2. Ampolla externa
3. Tubo de descarga
4. Hoyuelo
5. Capa reflectora de óxido de indio

6. Electrodo
7. Pellizcos
8. Absorbente
9. Fusible para proteger el balastro contra eventuales excesos de corriente
10. Casquillo de bayoneta de material sintético.

(FIG. 2-18) Constitución de una Lámpara de Vapor de Sodio a baja Presión.

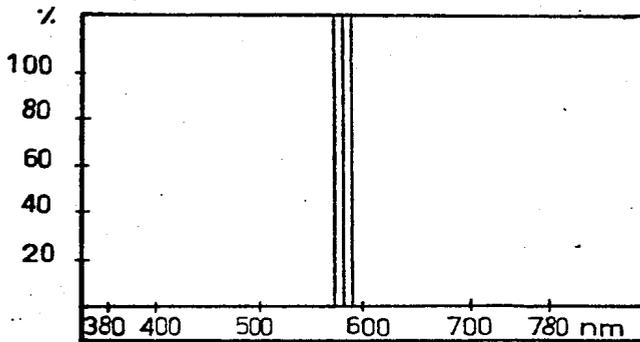
La tensión de encendido de la lámpara es de 480 a 660 volts por lo que se necesita de un autotransformador que eleve la tensión a un valor adecuado.

Al conectar la lámpara se produce una descarga a través del Neón, emitiéndose una luz rojiza, el calor generado vaporiza el sodio progresivamente hasta convertirlo en el soporte principal de la descarga.

En el período de arranque la luz varía de roja a ama-

rilla y el período de reencendido es de 3 a 7 minutos.

La descarga se produce a través del metal de sodio vaporizado a baja presión esta representada por la radiación monocromática formada por dos rayas próximas entre sí con longitudes de onda de 589 y 589.6 nm respectivamente.



(FIG. 2-19) Distribución Espectral Relativa.

En este tipo de lámparas se tiene el mayor rendimiento por unidad de potencia eléctrica que es de 183 Lm/w.

Las aplicaciones son amplias, pero quedan limitadas a casos en que interesa disponer de una gran cantidad de luz, sin que influya la calidad de la misma, se utiliza en alumbrado arquitectónico para hacer resaltar los colores de cierto tipo de piedra, en alumbrado de autopistas, carrete-

ras, muelles de carga, instalaciones portuarias, etc.

2.3.15.). LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESION.

Las lámparas de alta presión están construídas por -- una ampolla de vidrio duro, donde se encuentra alojado el tu-- bo de descarga, cuyo material se compone de óxido de alumi-- nio muy resistente al calor y a las reacciones químicas del vapor de sodio, poseyendo una transmisión de luz del 90%. En el interior del tubo de descarga se encuentra sodio, mercu-- rio y un gas noble.

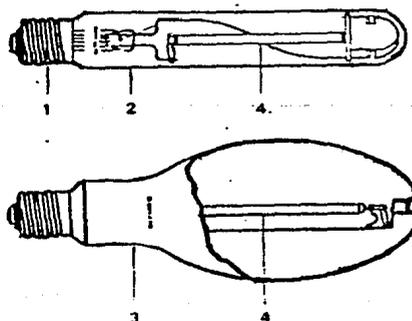
El gas noble se agrega con el fin de obtener un encen-- dido seguro con temperaturas ambiente bajas.

El mercurio reduce la conducción de calor del arco de descarga a la pared del tubo y aumenta la tensión del arco.

(FIG. 2-20).

Construcción de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.

1. Casquillo
2. Ampolla exterior tubular clara
2. Ampolla exterior elipsoidal con capa difusora
4. Tubo de descarga de aluminio sinterizado



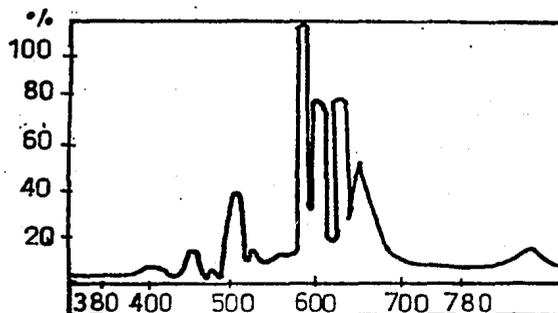
(FIG. 2-20) Constitución de la Lámpara de Vapor de Sodio a Alta Presión.

Debido a la alta presión a la que se encuentra el gas a veces es necesario tener tensiones de choque del orden de 2.8 a 5 Kv para asegurar el encendido.

El período de encendido dura varios minutos. Algunos tipos de lámparas pueden reencenderse inmediatamente pero deben tener portalámparas que soporten 25 Kv la tensión de choque.

Al tener las lámparas de sodio a alta presión se mejora la producción cromática, al tiempo de conservar un alto rendimiento luminoso, resultando una composición espectral que da como resultado un color blanco dorado.

El elevado rendimiento luminoso y el tono de luz aceptable han ampliado las posibilidades de alumbrado público e industrial, teniendo en cuenta la limitación deficiente de su reproducción cromática.



(FIG. 2-21) Distribución Espectral Relativa.

2.4.7). FENOMENOS DE LA LUZ.

La utilización y aplicación de la luz, exige un control y una distribución que se consigue modificando sus características, por medio de ciertos fenómenos físicos como son la reflexión, absorción, transmisión y la refracción de la luz.

Los materiales que se utilizan en el control de la luz son opacos, transparentes y translúcidos.

Los materiales transparentes transmiten prácticamente la totalidad de la luz, los objetos pueden verse a través de ellos.

Los materiales translúcidos pueden transmitir la luz, pero la difunden ó dispersan de modo que los objetos no pueden verse claramente a través de ellos.

Estos materiales se encuentran aplicados en elementos luminosos y de iluminación, incluyendo cristales y plásticos opalescentes, esmaltados y configurados.

Los materiales opacos no transmiten luz, pero sirven para reflejar y absorber parte de ésta. Estos materiales incluyen los metales pulidos y las superficies con acabado -

de espejo ó especulares.

2.4.1.). REFLEXION.

El ojo responde a la luz, todos los objetos son vistos por la luz, ya sea por la luz emitida por el objeto o por la luz reflejada en él.

Aunque toda la luz se debe a fuentes de energía como el sol, una lámpara, una fogata o una vela, la mayor parte de la que se ve en el mundo físico es el resultado de la luz reflejada.

Cuando una superficie devuelve la luz que incide sobre ella se dice que refleja luz.

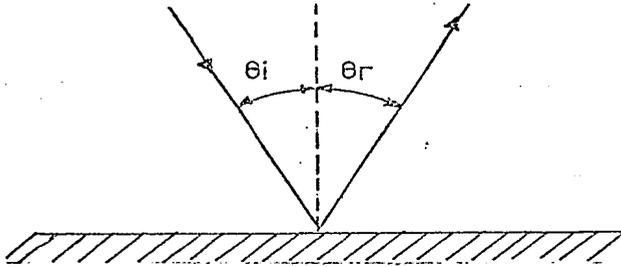
La reflexión de la luz obedece a la misma Ley General de la Mecánica que gobierna otros fenómenos de rebote, es decir, el ángulo de incidencia es igual al de reflexión. Los ángulos se miden con respecto a la normal de la superficie -- tal como se muestra en la (Figura 2-22).

La reflexión puede ser de varios tipos dependiendo de las siguientes condiciones:

I. De la superficie, ya que una superficie lisa refle-

ja mejor la luz que una rugosa,

- II. Del ángulo de incidencia de los rayos luminosos.
- III. Del color de los rayos incidentes, la luz blanca refleja mejor la luz que la coloreada.



(FIG.2-22) El ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

Así se pueden obtener tipos de reflexión.

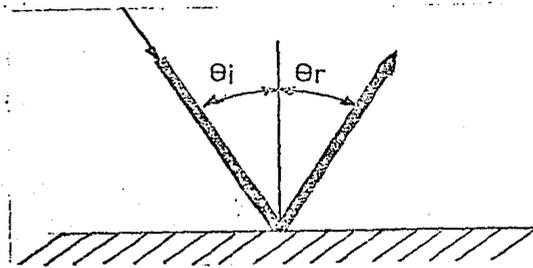
2.4.2.) REFLEXION DIRIGIDA.

Es la producida por superficies completamente lisas y brillantes, como los espejos y los metales pulidos. Aquí se manifiesta que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

La reflexión especular proporciona una luminancia máxima en dirección del rayo reflejado y nula en las demás direcciones del espacio.

Tiene usos en reflectores concentrados de luz, reflectores industriales para alto montaje y lámpara de proyección-

con espejo integral plateado. (FIG. 2-23).

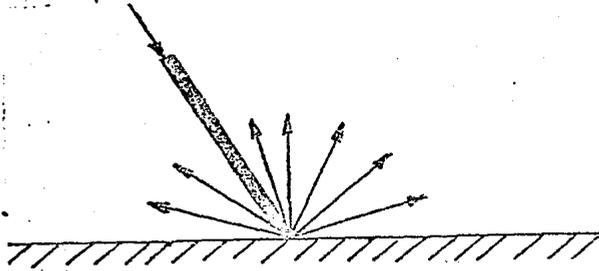


(FIG. 2-23) Reflexión dirigida, la luz se refleja en una misma dirección.

2.4.3.) REFLEXION DIFUSA.

Es producida por superficies rugosas y mates, se tiene una reflexión de este tipo cuando el rayo incidente se refleja por igual en todas direcciones del espacio.

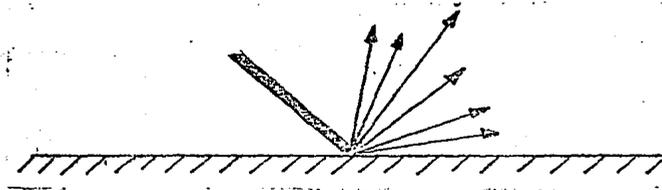
Con la reflexión difusa se evita el efecto de deslumbramiento, que se aprecia cuando en el campo de la visión existen elementos que tiene una luminancia mucho mayor que la de los elementos circundantes, se utiliza en acabados de pintura de cuartos y equipo.



(FIG. 2-24) Reflexión Difusa, la luz se esparce en varias direcciones.

2.4.4.1). REFLEXION SEMIDIRIGIDA.

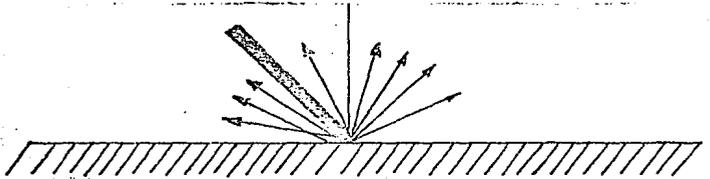
Se produce cuando al incidir un rayo sobre una superficie rugosa, ésta se refleja en varias direcciones dirigidas en un sentido, algunas de las superficies que ayudan a tener la reflexión son la pintura blanca mate, metales cepillados y esmalte Horneado.



(FIG. 2-25) Reflexión Semidirigida.

2.4.5.) REFLEXION SEMIDIFUSA.

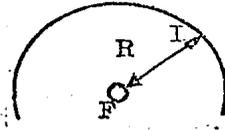
Es en la que se tienen mezcladas las características - reflectantes, tanto especulares como difusas, los materiales - que nos pueden producir este tipo de reflexión son el esmalte - porcelanizado, pintura de alto brillo, también éste tipo de - reflexión se usa en reflectores industriales.



(FIG. 2-26) Reflexión Semidifusa.

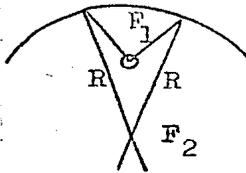
En la práctica un reflector plano no tiene ninguna -- aplicación, sin embargo podemos tener tres superficies curvas de tal manera, que los rayos incidentes sean manejados de una determinada forma:

Por ejemplo un reflector circular devuelve la luz ha-- cia la fuente central que la está creando, como se ve en la (figura 2-27).



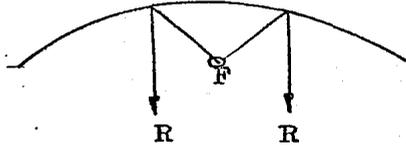
(FIG. 2-27)

Un reflector elíptico devuelve la luz al foco F_2 cuando la fuente está en F_1 (FIG. 2-28).



(FIG. 2-28)

Un reflector parabólico devuelve la luz en rayos paralelos cuando la fuente está en el foco F (FIG. 2-29).



(FIG. 2-29)

Factor de Reflexión.

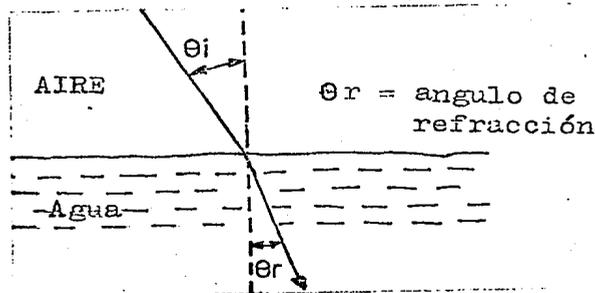
Se llama factor de reflexión a la relación entre el -- flujo luminoso reflejado y el incidente.

$$Fr = \text{Lúmenes reflejados/lúmenes incidentes.}$$

2.4.6.) . REFRACCION.

La luz se propaga en línea recta con una velocidad -- constante en un medio uniforme, si cambia el medio, cambiará la velocidad de la luz y se propagará en línea recta a lo -- largo de una nueva trayectoria. A la desviación o cambio de dirección de un rayo de luz, cuando pasa oblicuamente de un medio a otro se le conoce como refracción.

En la (figura 2-30) se muestra el principio de refracción para una onda de luz que proviene del aire al agua.



(FIG. 2-30) Refracción de un frente onda en la frontera de dos medios.

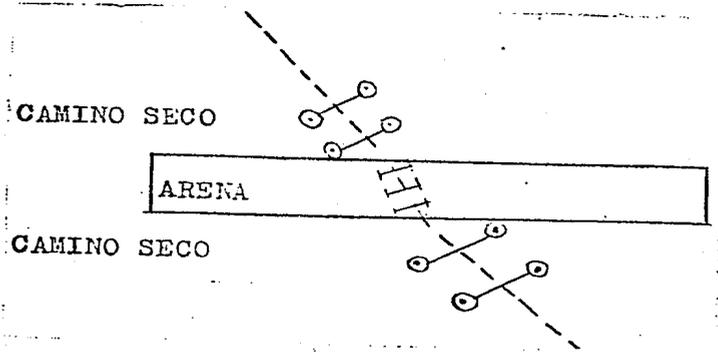
La refracción explica algunos de los fenómenos tan familiares como la distorsión ó deformación aparente de objetos parcialmente sumergidos en el agua.

Alguna de las Leyes Básicas de Refracción son:

- I.- El rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano.
- II.- La trayectoria de un rayo refractado en la entrecara de dos medios son exactamente reversibles.

A fin de comprender esto si observamos la (figura 2-31) la acción de unas ruedas que en su camino encuentran una franja de arena se asemejan al comportamiento de la luz, al aproximarse la arena una de las ruedas la toca y disminuye su velocidad, la otra continúa con la misma velocidad, de tal forma, que el eje forma un nuevo ángulo. Cuando ambas ruedas -- están en la arena se mueven otra vez en línea recta con velocidad uniforme.

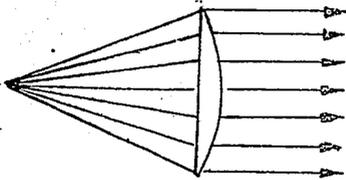
Dando efecto contrario cuando sale de ese medio y regresa a su dirección original.



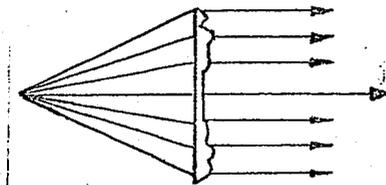
(FIG. 2-31) Analogía Mecánica de la Refracción.

La refracción se aprovecha donde se requiere un control efectivo de la luz, como en iluminación de oficinas, pizarrones, tableros de medición, etc.

Para lograr esto se utilizan prismas, lentes, lentes de Fresnel, superficies paralelas.



(FIG. 2-32) Lente.



(FIG. 2-33) Lente Escalonado Fresnel.

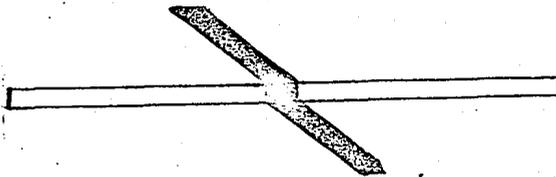
2.4.7.) TRANSMISION.

Es un concepto que se refiere al paso de la luz a través de un medio, cuyas características dependerá que la luz se modifique en cuanto al valor de la intensidad, color y dirección.

Lo mismo que en la reflexión se cuenta con varios tipos de transmisión.

2.4.8.) TRANSMISION DIRIGIDA.

Es la transmisión que se produce en cuerpos transparentes como el vidrio, donde puede apreciarse un cambio de dirección al pasar de un medio a otro.



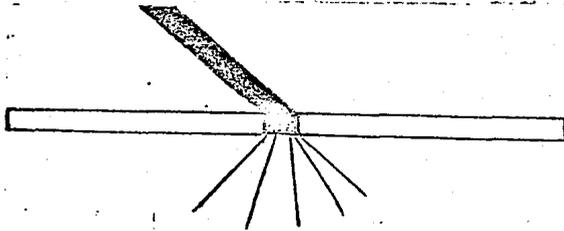
(FIG. 2-34) Transmisión Dirigida.

2.4.9.) . TRANSMISION DIFUSA.

Se llama así a la transmisión de luz dirigida en todas direcciones.

Los métodos para extender la luz son el tratamiento de la superficie de los cristales o plásticos con un esmerinado, acanalado y otros.

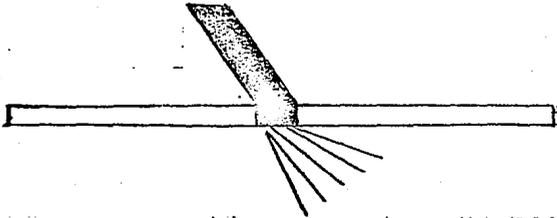
Estos se usan para ocultar las fuentes luminosas, para aumentar el extendimiento del rayo luminoso, ó para modificar la distribución de la potencia luminosa del equipo de iluminación. (FIG. 2-35).



)FIG. 2-35) Transmisión Difusa.

2.4.10.) TRANSMISION SEMIDIRIGIDA.

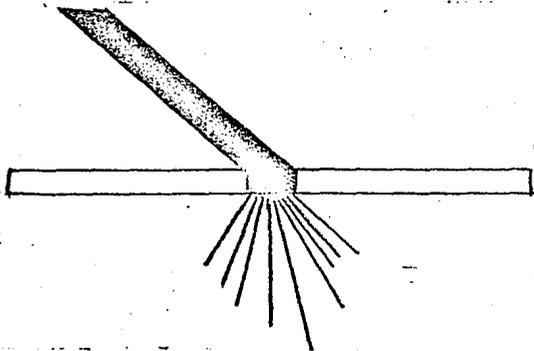
En ésta transmisión la luz dirigida se dispersa en todas direcciones, pero manteniendo un determinado sentido. Se produce por los cuerpos menos transparentes como el vidrio mateado.



(FIG. 2-36) Transmisión Semidirigida.

2.4.11). TRANSMISION SEMIDIFUSA.

Se produce en cuerpos translúcidos menos densos, en este tipo de transmisión tenemos que es la combinación de la difusa y semidirigida.



(FIG. 2-37) Transmisión Semidifusa.

2.4.12). FACTOR DE TRANSMISION.

Se llama factor de transmisión a la relación que existe entre el flujo transmitido y el incidente de manera que:

$$F_t = \text{Lumenes transmitidos} / \text{Lumenes Incidentes.}$$

2.4.13.) ABSORCION.

Todas las sustancias absorben luz en mayor ó menor proporción, un cuerpo que absorbe la totalidad de luz se llama "Cuerpo Negro"

De aquí que los fenómenos de reflexión, transmisión y absorción tengan una relación muy estrecha entre sí.

La absorción siempre representa una pérdida de luz.

Se puede decir que en todo cuerpo existe una reflexión, una refracción y una transmisión además de absorción.

2.4.14). DIFRACCION.

Es la capacidad de las ondas para deflectarse o cambiar la dirección alrededor de obstáculos colocados en su trayectoria.

2.4.12). FACTOR DE TRANSMISION.

Se llama factor de transmisión a la relación que existe entre el flujo transmitido y el incidente de manera que:

$$F_t = \text{Lumenes transmitidos} / \text{Lumenes Incidentes.}$$

2.4.13.) ABSORCION.

Todas las sustancias absorben luz en mayor ó menor proporción, un cuerpo que absorbe la totalidad de luz se llama "Cuerpo Negro".

De aquí que los fenómenos de reflexión, transmisión y absorción tengan una relación muy estrecha entre sí.

La absorción siempre representa una pérdida de luz.

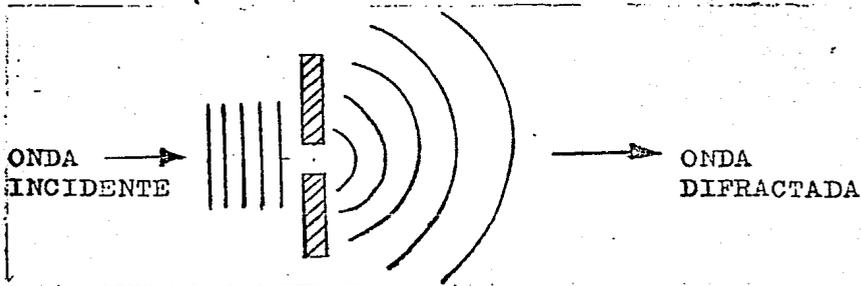
Se puede decir que en todo cuerpo existe una reflexión, una refracción y una transmisión además de absorción.

2.4.14). DIFRACCION.

Es la capacidad de las ondas para deflectarse o cambiar la dirección alrededor de obstáculos colocados en su trayectoria.

Cuando unas ondas pasan por una abertura o por el borde de un obstáculo siempre se deflexionan un poco hacia la región que no está expuesta.

Por ejemplo cuando unas ondas luminosas chocan contra un agujero en una barrera, las ondas que pasan a través de este se abren en forma de abanico y el agujero actúa como una nueva fuente de ondas luminosas.



(FIG. 2-38) Difracción.

CAPITULO III

CALCULO DE LA ILUMINACION EN AREAS ABIERTAS

3.1.) CONSIDERACIONES BASICAS.

El alumbrado de exteriores comprende el de los espacios descubiertos, donde se pueden diferenciar las siguientes aplicaciones:

Alumbrado Deportivo

Alumbrado Industrial de parques, de materiales, muelles de carga, obras, plantas dosificadoras, accesos, estaciones de servicio, etc.

Alumbrado de fachadas de edificios y monumentos.

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

En este tipo de zonas a iluminar, las posibilidades de emplazamiento de equipo y la variación de las condiciones a los alrededores, hacen imposible llevar a cabo la normalización.

Sin embargo para realizar el cálculo de un proyecto de iluminación por lo general, los datos básicos son los planos del local, ya sea industrial, comercial o de cualquier área.

En todo caso el orden que debe seguirse para realizar un buen proyecto de iluminación es el siguiente en forma gral.:

- 1.- Análisis de las necesidades de iluminación.
- 2.- Determinación del nivel de iluminación aconsejable.
- 3.- Elección del tipo de fuente de luz.
- 4.- Selección del color de la luz emitida por la lámpara.
- 5.- Selección de luminario adecuado.
- 6.- Decisión de la altura de montaje.
- 7.- Estimación de las condiciones de mantenimiento.
- 8.- Determinación del número de luminarios requeridos.
- 9.- Plano de Distribución de los luminarios.

3.1.1.) ANALISIS DE LAS NECESIDADES DE ILUMINACION.

El análisis debe hacerse teniendo en cuenta lo que debe ser visto, de esta forma tenemos iluminación para seguridad, -- iluminación para rendimiento visual e iluminación para placer-estético.

La iluminación de edificios o monumentos con reflectores es un problema, especialmente en pequeños edificios funcionales y grandes edificios con características arquitectónicas-modernas. Un brillo alto en la parte superior de un edificio - aumenta su altura aparente.

Un edificio de tipo clásico de carácter arquitectónico-especial no puede ser iluminado uniformemente, ya que puede verse frustrado su diseño.

Las sombras son esencialmente para relieve y los contrastes de brillo o color, pueden utilizarse con ventaja para hacer resaltar detalles importantes o suprimirlos.

El alumbrado deportivo depende de muchos factores entre los que se encuentran, la naturaleza general de la tarea a realizar, la velocidad de la acción, la habilidad de los jugadores, el número de espectadores y su distancia al campo de juego. Cuanto mayor sea la distancia del plano de trabajo a los asientos más alejados, mayor será la iluminación requerida para que los espectadores puedan seguir las incidencias del juego. En algunos casos la iluminación requerida para los espectadores es mucho mayor que para los jugadores.

3.1.2.) DETERMINACION DEL NIVEL LUMINOSO MAS ACONSEJABLE.

Las recomendaciones sobre niveles de iluminación adecuados, pueden ser obtenidas mediante las publicaciones de la Sociedad de Ingeniería de iluminación y la Sociedad Mexicana de Ingeniería en Iluminación. Estos niveles están diseñados para producir un rendimiento visual máximo, cuando se aplican a la tarea propiamente dicha, a fin de que la adaptación de los ojos no cambie mucho, cuando se dirige la mirada de un punto -

a otro.

3.1.3) ELECCION DEL TIPO DEL FUENTE DE LUZ.

Para elegir el tipo de fuente luminosa, se toma en consideración si el sistema de iluminación va a ser usado sólo -- ocasionalmente y por lo tanto el costo inicial, pasa a ser más importante que el costo de operación. Cuando tenemos este caso el tipo usualmente seleccionado es el incandescente. Si el --- sistema va a estar funcionando durante muchas horas, los tipos - fluorescentes, mercurio o sodio a alta presión son los más ade cuados.

Por ejemplo en algunas instalaciones en las que se usa el alumbrado menos de 500 horas al año, es económico usar lámparas de vida corta o filamento a tensiones superiores. Cuando la instalación es para menos de 200 horas, se recomienda usar una lámpara para servicio general, con una sobretensión del -- 10%.

3.1.4) SELECCION DEL COLOR DE LA LUZ EMITIDA POR LA LAMPARA

Al iluminar un área con lámparas de vapor de mercurio, - es posible escoger entre los tipos claro, de color corregido - y blancas. Como en las lámparas blancas se ha logrado un color corregido con una eficiencia mayor, éste es el tipo de lámpara mas aconsejable para todas las aplicaciones, exceptuando los--

casos donde la altura de montaje es muy elevada y se requiere un mejor control del haz luminoso, lo que se logra con lámparas claras.

El color puede suministrarse en instalaciones con reflectores de distintas maneras, generalmente disponiendo de tapas de vidrio de color, sin embargo debe de tenerse en cuenta al proyectar, la absorción de una cierta cantidad de luz, ya que cualquier control de este tipo representa pérdidas.

3.1.5) SELECCION DEL LUMINARIO.

Existe una amplia variedad de luminarios. Algunos de los factores que contribuyen en una decisión son: el tipo de distribución de luz, el ángulo de corte del luminario, las condiciones de utilización comparada con la apariencia estética, características constructivas y curvas de distribución. Para la elección del luminario mas aconsejable hay que consultar los catálogos del fabricante de aparatos de alumbrado.

Los luminarios de distribución asimétrica tienen mayor aplicación, en el alumbrado de calles y carreteras, ya que la longitud de su distribución es mayor que el ancho, ofreciendo un mayor aprovechamiento del flujo.

3.1.6) ELECCION DE LA ALTURA DE MONTAJE.

Es una característica fundamental en todo proyecto de -- iluminación. La tendencia actual es situar los aparatos de --- alumbrado tan altos como sea posible, de manera que se disminuy ya el riesgo de deslumbramiento, y se pueda separar más a los luminarios, disminuyendo también el número de ellos, además -- de distribuir mejor la luminancia sobre la superficie.

Los inconvenientes que presenta una mayor altura de montaje, es que se dificulta el mantenimiento y se incrementan -- los costos.

3.1.7) ESTIMACION DE LAS CONDICIONES DE MANTENIMIENTO.

El rendimiento de los aparatos de alumbrado, se reduce-- con el transcurso del tiempo, bajo los efectos del polvo y la-- suciedad. Según el lugar de colocación y las características - constructivas, el flujo puede reducirse en un plazo de dos --- años de un 20% a un 50% respecto a su valor inicial. Al pro-- yectar una instalación, debe considerarse la reducción del flujo en función de la depreciación de las características reflectoras y transmisoras del luminario que se trate, además de la-- pérdida de flujo a causa del envejecimiento de la lámpara, co-- mo resultado del número de horas de funcionamiento de ésta.

3.1.8) DETERMINACION DEL NUMERO DE LUMINARIOS REQUERIDOS.

Con la utilización de la fórmula siguiente, se tiene que el número de luminarios es con relación al método de lúmenes:

No. de Luminarios = $(E \times S) / (\text{Lúmenes por luminario} \times CU \times FM)$:

E = nivel de iluminación en lux recomendado.

S = Area a iluminar.

FM = Factor de Mantenimiento.

CU = Coeficiente de utilización.

El objetivo del presente trabajo, es la utilización de reflectores como fuente de iluminación.

Un reflector es una luminaria, que concentra la luz en un ángulo sólido determinado, por medio de un sistema óptico - (espejos o lentes), para conseguir una intensidad luminosa elevada.

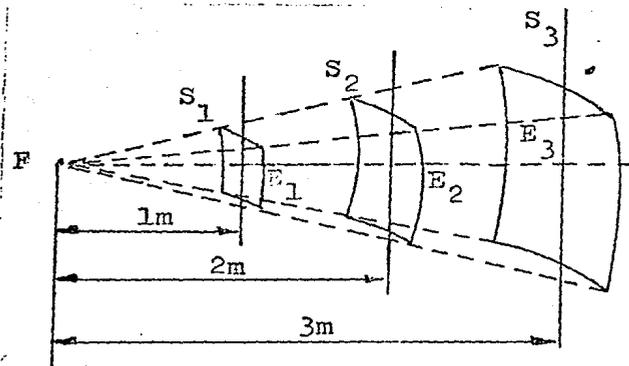
Los reflectores suelen poseer una distribución de flujo mas concentrada que las luminarias comunes, por lo que para la representación de la misma, se puede utilizar sistemas de coordenadas cartesianas.

Por otra parte la distribución de un reflector puede ser simétrica o asimétrica. Así los reflectores con esta últi-

ma distribución, quedan mejor representados por medio de curvas isocandelas como las que se muestra en la (figura 3-1).

3.2) LEY INVERSA DE LOS CUADRADOS.

La iluminancia producida en un punto, situado en una superficie, por una fuente luminosa, en la dirección determinada por la recta que une la fuente con el punto central de la superficie y la distancia dada, se deduce de la siguiente (figura 3-2) donde se deduce que: $E_1 = 4E_2 = 9E_3$



(FIG. 3-2) Distribución del Flujo sobre distintas superficies.

De manera que la intensidad de iluminación sobre una superficie perpendicular a la dirección de la radiación, es directamente proporcional a la intensidad luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, entre la fuente luminosa y la superficie.

Esta ley se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$E = I / d^2$$

E= Iluminación en Lux

I= intensidad luminosa en candelas.

d= Distancia entre el manantial luminoso y la superficie.

Se puede deducir según esta Ley, que si tenemos una intensidad luminosa uniforme de dos candelas siempre constante, producirá sobre una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación a las distancias de 1,2 y 3 metros - las iluminaciones de :

d = 1 m

2 m

3 m

I = 2

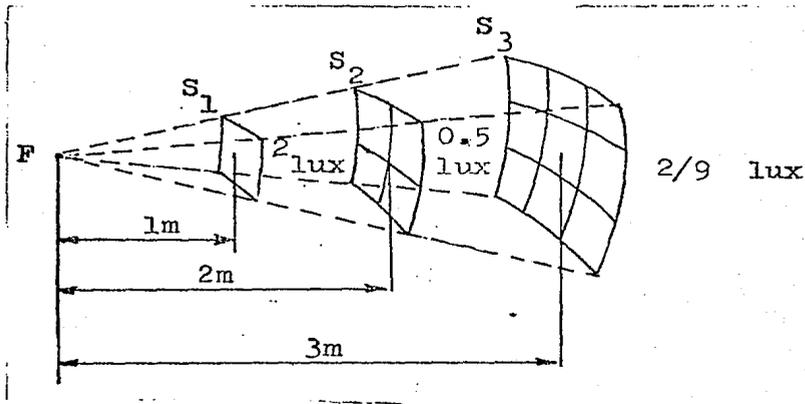
$$E_1 = I / d^2 = 2 / 1^2 = 2 \text{ lux.}$$

$$E_2 = I / d^2 = 2 / 2^2 = 0.5 \text{ lux.}$$

$$E_3 = I / d^2 = 2 / 3^2 = 2/9 \text{ lux.}$$

De manera que hay que tener en cuenta que la intensidad luminosa, se emite en un ángulo sólido w siempre constante. - De la figura 3-3 se observa que la iluminación a dos y tres me-

tros, es cuatro y nueve veces menor que en la primera.

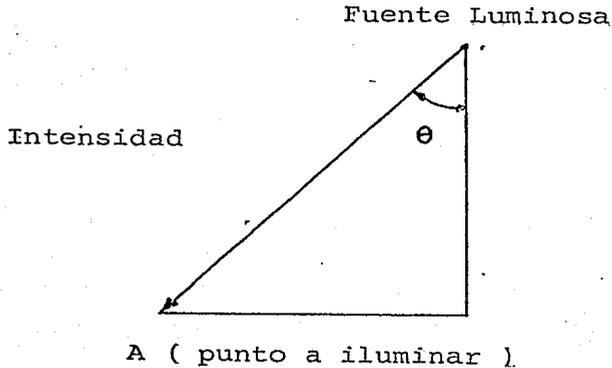


(FIG. 3-3) Aplicación de la Ley Inversa de los Cuadrados.

3.3) LEY COSENO.

La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia. El ángulo de incidencia está formado por la dirección del rayo incidente y la perpendicular a la superficie.

En el caso anterior la superficie estaba colocada perpendicularmente a la dirección de los rayos luminosos, pero ahora cuando la dirección de los rayos forma un ángulo θ con la perpendicular a la superficie, la iluminación hay que multiplicarla por el coseno del ángulo formado de manera que:



(FIG. 3-4) Iluminación en un punto no perpendicular a la fuente.

3.4.) METODO DE PUNTO POR PUNTO.

El método de punto por punto nos permite calcular con bastante exactitud, la iluminación en una área, calculando está en cada punto.

Se utiliza este método en lugares donde la altura de montaje es muy grande, y los resultados obtenidos por el método de lúmenes no son muy confiables, algunos ejemplos de estos lugares son fábricas de altos techos, gimnasios, áreas abiertas, etc. Donde es importante contar con la seguridad de tener precisamente el nivel de iluminación recomendado.

Con este método es posible calcular la iluminación pro-

ducida en cada punto con fuentes luminosas distribuidas y localizadas de antemano, por lo que para aplicarlo debe tenerse, -- ya una distribución de luminarios, que sirvan de base para el cálculo, esta es posible de determinarla estimativamente por el método de lumenes. Obtenida así se aplica el método de punto por punto, y si el cálculo de los niveles indica los recomendados la base tomada será la definitiva.

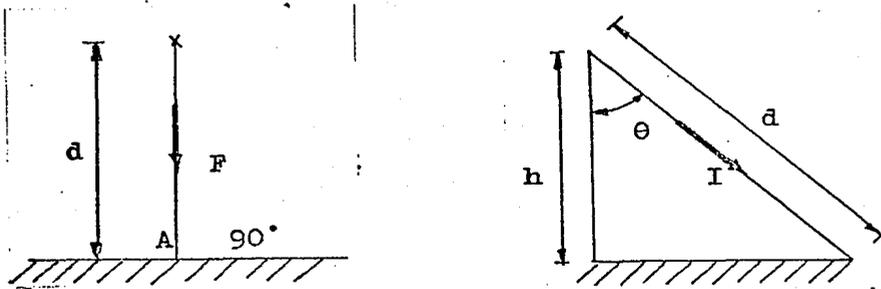
Se cuenta con dos tipos de iluminación la horizontal y la vertical.

3.4.1) ILUMINACION HORIZONTAL.

Haciendo referencia a la figura 3-5 (a), la intensidad de iluminación que proporciona el manantial luminoso F, en el punto A, está determinada por la Ley Inversa de los Cuadrados, ya que la superficie se encuentra perpendicular a la dirección de los rayos luminosos emitidos por el manantial F.

Si se observa la fig. 3-5 (b) tenemos que cuando se forma un ángulo entre los rayos y la perpendicular a la superficie, la intensidad de iluminación está determinada por la ley de los Cosenos.

$$E = (I / d^2) \cos \theta \quad \text{----- (1)}$$



(FIG. 3-5) Diferentes iluminaciones sobre una superficie.

En la práctica es más fácil conocer la altura de montaje, que la distancia de la fuente al punto, ya que la altura de montaje (h), es la distancia entre el luminario y el plano de trabajo de lo anterior se puede deducir que:

$$\cos \theta = h/d$$

por lo tanto $d = (h / \cos \theta)$

Si sustituimos en (1) tenemos:

$$E = \frac{I}{(h^2 / \cos^2 \theta)} \cos \theta$$

Así la iluminación horizontal en el punto queda determinada como:

$$E = \frac{I \cos^3 \theta}{h^2} \text{-----} (2)$$

La iluminación horizontal es la que se utilizará en el presente trabajo, ya que se trata de áreas abiertas donde la iluminación vertical ocupa un lugar poco importante.

La componente de iluminación horizontal, puede expresarse en función de un ángulo vertical y un horizontal por medio de la siguiente igualdad:

$$\cos \theta = \cos \theta_H \cos \theta_V \text{-----} (3)$$

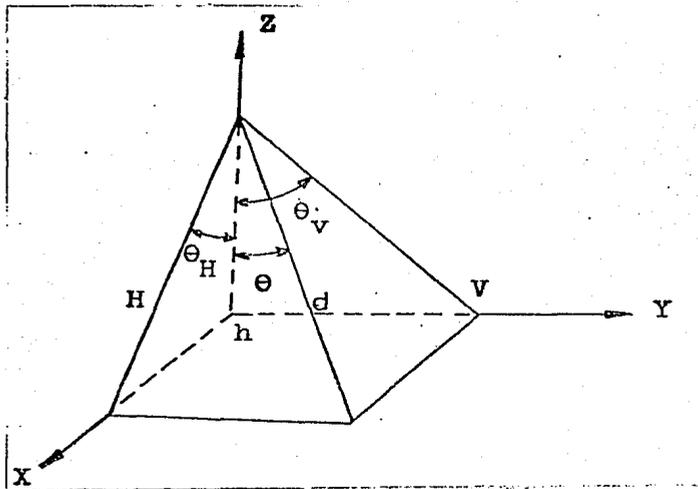
DEMOSTRACION DE QUE: $\cos \theta = \cos \theta_H \cos \theta_V$.

Se tiene:

$$\cos \theta_H = h / H \text{-----} (1)$$

$$\cos \theta_V = h / H \text{-----} (2)$$

$$\cos \theta = h / d \text{-----} (3)$$



Si se despeja las tres ecuaciones anteriores:

$$h = h \cos \theta_H = v \cos \theta_V = d \cos \theta$$

De la figura se puede observar que:

$$\cos \theta_H = v / d \quad \text{----- (4)}$$

despejando d

$$d = v / (\cos \theta_H) \quad \text{----- (5)}$$

Sustituyendo (5) en (3) tenemos.

$$h = \cos \theta \frac{v}{\cos \theta_H} \quad \text{----- (6)}$$

Si $v \cos \theta_V = h$ e igualamos con (6)

$$V \cos \theta_V = \cos \theta \frac{V}{\cos \theta_H}$$

Reduciendo

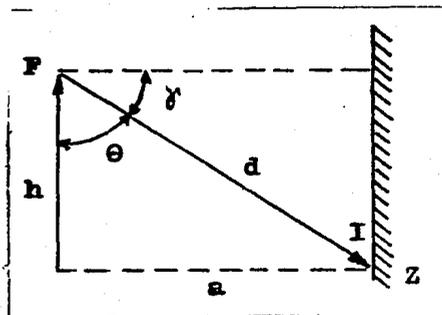
$$\cos \theta_V = \cos \theta \frac{1}{\cos \theta_H}$$

Así

$$\cos \theta = \cos \theta_H \cos \theta_V$$

3.4.2) ILUMINACION VERTICAL.

Para calcular la iluminación en un punto Z, que se encuentra en un plano vertical, con referencia a un manantial luminoso como se muestra en la (fig. 3-6), es necesario utilizar la Ley de los Cosenos.



(FIG. 3-6) Iluminación de un punto situado en un Plano Vertical

En la práctica es más fácil conocer el ángulo θ que se muestra en la figura, por lo que se puede expresar la ecuación en función del ángulo θ .

$$E = \left(I / d^2 \right) \cos \gamma \text{ ----- (1)}$$

Se puede apreciar de la figura anterior que:

$$\text{SEN } \theta = a / d$$

$$\text{COS } \gamma = a / d$$

por lo que: $\text{SEN } \theta = \text{COS } \gamma$

Si se sustituye en la ecuación (1)

$$E = \frac{I}{d^2} \text{SEN } \theta \text{ ----- (2)}$$

Puede también expresarse en función de la altura de montaje h , de manera que:

$$\text{COS } \theta = h / d$$

despejando d

$$d = \frac{h}{\text{COS } \theta}$$

Sustituyendo la ecuación (2)

$$E = \frac{I}{(h / \cos \theta)^2} \text{ SEN } \theta$$

Reduciendo la iluminación vertical queda expresada --

como:

$$E = \frac{I}{d^2} \text{ SEN } \theta \text{ COS}^2 \theta \quad (\text{FM})$$

FM = Factor de Mantenimiento.

3.5.) METODO DE FLUJO LUMINOSO.

Los pasos que hay que llevar a cabo para iluminar una zona especialmente con reflectores son los siguientes:

3.5.1) DETERMINACION DEL NIVEL DE ILUMINACION.

El nivel luminoso no debe ser inferior, en ningún momento al recomendado, ni aún cuando la instalación tenga tiempo de estar funcionando, por lo que se ha de considerar un buen margen, para incluir la depreciación de la iluminación.

Cuando se iluminan las áreas específicas como edificios y monumentos, el brillo de los alrededores y la reflectancia de la superficie deben tomarse en cuenta. Cuando se trata de una vía pública, la iluminación esta en función de la intensi-

dad de tráfico rodado o de la velocidad media con la que circulan los vehículos, en una calzada, la percepción depende de la iluminación de los objetos situados dentro del campo visual. A continuación se dan dos tablas de niveles recomendados en función de la velocidad y el tipo de vía pública, que se trate además de los niveles de iluminación de las diferentes zonas, que se pueden iluminar con reflectores.

NIVELES DE ILUMINACION TENIENDO EN CUENTA LA VELOCIDAD DEL TRAFICO.

Iluminancia (lux)	4	7	15	22	30
Uniformidad	0.15	0.2	0.25	0.3	0.3
Velocidad	VEHICULOS / HORA				
Menor a 25 km/h	150-400	400-800	800-1600	1600-3200	más 3200
Mayor a 55 km/h	150-250	250-500	500-1000	1000-1800	más 1800

NIVEL DE ILUMINACION EN FUNCION DEL TIPO DE VIA PUBLICA, -

TIPO	NIVEL (lux)	UNIFORMIDAD
Carreteras de las redes básicas o afluentes.	22	0.30
Vías principales, conti- nuación de carreteras de redes básicas o afluentes	22	0,30
Continuación de carrete- ras de una red comercial.	15	0.25
Continuación de carrete- ras de las redes local ó vecinal.	10	0.25
Vías Industriales.	7	0.20
Vías Comerciales de lujo con tráfico rodado.	22	0.30
Vías Comerciales con tráfico rodado en general.	15	0.25

TIPO	NIVEL (lux)	UNIFORMIDAD
Vías residenciales sin tráfico rodado.	10	0,25
Vías Residenciales con poco tráfico rodado.	7	0,20
Grandes Plazas	20	0,30
Paseos	15	0,25

NIVELES DE ILUMINACION RECOMENDADOS EN EXTERIORES.

Clases de alumbrado	Iluminan- cias lux	Clases de alumbrado	Iluminan- cias lux
Anuncios, carteles		Aparcamientos	
Con los alrededores brillantes:		No vigilado.....	10
Superficies claras.....	500	Vigilado	20
Superficies oscuras.....	1000	Astilleros	
Con los alrededores oscuros:		General.....	50
Superficies claras.....	200	Camino.....	100
Superficies oscuras.....	500	Areas de fabricación....	300

Clases de alumbrado	Iluminancias lux	Clases de alumbrado	Iluminancias lux
Banderas (ver anuncios)		Alrededores próximos a edificios	10
Canteras, minas al descubierto.	50	Alrededores alejados inactivos	2
Construcción, trabajo de		Vallas o límites	2
Edificios	100	Ferrocarriles	
Excavaciones	20	Muelles de carga y descarga....	50
Obras públicas (puentes, carreteras)	50/100	Zonas de recepción y espera....	10
		Zonas de clasificación	20
		Zonas de enganche	20
Depositos de carbón y similares		Torre de control (vertical)....	100
Alumbrado de protección ..	2	Subestación (vertical y horizontal)	20
Depositos de mercancías a la intemperie		Granjas	
Gran movimiento	200	Áreas inactivas alumbrado protector	2
Edificios y monumentos		Áreas activas	10
Con los alrededores brillantes,		Zonas de almacenaje	30
Superficies claras	150	Jardines	
Superficies medio claras..	200	Alumbrado general.....	5
Superficies medio oscuras	300	Fondos decorativos (vallas, arboles).....	20
Superficies oscuras	500	Rosaledas	50
Con los alrededores oscuros		Puntos importantes de confluencia	100
Superficies claras.....	50	Muelles	
Superficies medio claras..	100	Cargamentos	200
Superficies medio oscuras.	150	Alrededores zona de embarque...	50
Superficies oscuras.....	200	Pasajeros	200
Exteriores de edificios		Patios de almacenaje	
Accesos		Activos.....	200
Activos (peatones y/o vehículos).....	50		
Inactivos (de uso poco frecuente).....	10		
Localizaciones visuales y estructuras	50		
DEPORTIVO			
Baloncesto		Boxeo	
Amistad	100	Campeonato	5000
Competición	300	Profesional	2000
		Aficionados	1000
Balónvolea		Frontón	
Competición	200	Club	200
Entrenamiento	100	Entrenamiento.....	100
PISCINAS		Tiro de pichón	
Alumbrado de superficie..	100	Sobre el blanco	300
		En el punto de fuego	100
Pistas de patinaje sobre hielo		Tiro al plato	

Clases de alumbrado	iluminan- cias lux	Clases de alumbrado	iluminan- cias lux.
Fútbol		Tenis Una pista	
1. ^a División	1000	Campeonato	300
2. ^a División	500	Club	200
3. ^a División	300	Entrenamiento	100
Torneos juveniles ...	200		
Entrenamiento	100	Tenis. Dos pistas	
		Club	200
		Entrenamiento	100
Golf		Tiro con arco	
En los Tees	100	Competición	100
A 180 metros	50	Entrenamiento	50

3.5.2.) Determinación del tipo y Emplazamiento de los reflectores

El emplazamiento de reflectores está determinado por el -- tipo de aplicación y el contorno en que se encuentra el área.

Dependiendo de esto se pueden requerir torres individuales o postes espaciados a distancias regulares, también pueden utilizarse edificios adyacentes para el emplazamiento.

Es necesario tener un control sobre la luz, ya que por las mismas condiciones del equipo en cuanto a funcionamiento, puede producir deslumbramiento y provocar graves problemas.

La elección del tipo de reflector para una circunstancia particular, depende de las características que el caso presente pero pueden seguirse los siguientes casos generales:

a) Cuanto mayor sea la distancia del reflector a la zona a iluminar, mas estrecha deberá ser la abertura del haz.

En función del ángulo de abertura del haz, se tienen las siguientes clasificaciones NEMA.

ABERTURA EN GRADOS.	TIPO NEMA
10' - 18'	1
18' - 29'	2
29' - 46'	3
46' - 70'	4
70' - 100'	5
100' - 130'	6
130' y más	7

En los reflectores que tienen una distribución asimétrica, se toma en cuenta la abertura horizontal y vertical, designandose de la siguiente forma:

sí $H = 75^\circ$ es del tipo 5

$V = 35^\circ$ es del tipo 3

Por lo tanto el tipo de reflector es de 5 x 3.

b) La intensidad luminosa en el borde del haz, de un reflector debe ser 10% de la que hay en el centro del mismo. Así aprovechando esta característica para obtener una uniformidad razonable, los bordes de los haces, deben solaparse para obtener una superficie bien iluminada.

c) La eficacia de un haz, se define como la relación en tanto por ciento, entre los lúmenes del haz y los lúmenes de la lámpara, siendo los lúmenes del haz los que están contenidos dentro de este.

El porcentaje de los lúmenes del haz, que caen fuera de la zona a iluminar, es inferior en unidades de haz estrecho que en unidades de haz ancho, de esta forma los reflectores de haz estrecho, son preferibles para proporcionar el grado necesario de uniformidad y nivel luminoso.

3.5.3) Determinación del Coeficiente de Iluminación del Haz.

Para determinar cuantos reflectores, son los necesarios para iluminar la zona, es necesario conocer la cantidad de lúmenes del haz del reflector, y el porcentaje de los mismos que caen, sobre la zona a iluminar.

El número de lúmenes del haz del reflector, se obtiene de los catálogos de los fabricantes.

COEFICIENTE DE UTILIZACION DEL HAZ $= \frac{\text{LUMENES INCIDENTES SOBRE LA SUP.}}{\text{LUMENES DEL HAZ}}$

El valor del coeficiente de utilización depende del emplazamiento, del punto al cual se enfoca y de la distribución de luz del propio haz.

En general el valor recomendado del coeficiente de utilización debe estar entre 0.6 y 0.9 . Si fuese superior a 0.9, puede suceder que la iluminación este muy concentrada, en caso contrario si es menor de 0.6 hay la posibilidad de encontrar una opción, donde se encuentre una solución más económica.

Para hacer los cálculos, la zona a iluminar se superpone en la cuadrícula fotométrica, determinandose la relación -- entre los lúmenes comprendidos en el área, y los lúmenes totales del haz.

3.5.4) Estimación del Factor de Mantenimiento.

En atmósferas sucias, cuando las luminarias no se limpian constantemente o cuando solamente se sustituyen al fundirse, una depreciación luminosa fuerte se manifiesta en ellas, - por lo que una apreciación real da como resultado factores de mantenimiento bajos.

La iluminación resulta gravemente perjudicada por la su

ciudad, que se almacena en las superficies reflectoras y transmisoras.

Al utilizarse reflectores de haz estrecho, la suciedad acumulada en el reflector, reduce la potencia máxima en candelas, aumentando la abertura del haz, disminuyendo la iluminación.

Los factores de conservación se estiman normalmente, entre 0.65 y un 0.85%.

Algunos factores de conservación de flujo en algunas Lámparas son:

TIPO	FACTOR ORIENTADO
Incandescentes.	0.80
Luz Mezcla,	0.75
Mercurio a Alta Presión	0.80
Sodio a Alta Presión	0.80
Sodio a Baja Presión	0.90

FACTOR DE CONSERVACION POR SUCIEDAD.

TIPO DE LUMINARIA	FACTOR RECOMENDADO
Hermética	0.87 a 0.80
Ventilada	0.80 a 0.70
Abierta	0.75 a 0.65

3.5.5) Determinación del número de reflectores requeridos.

$$\text{No. de Reflectores requeridos} = \frac{\text{Nivel luminoso} \times \text{Zona}}{\text{Lúmenes del Haz} \times \text{CBU} \times \text{FM}}$$

Nivel Luminoso. - se toma el valor determinado en las tablas

Zona.- Medida en m^2 .

Lumenes del Haz.- Información de catálogos del fabricante.

CBU.- Coeficiente de Utilización del haz.

FM .- Factor de Mantenimiento.

3.6) CURVA DE UTILIZACION.

Permite conocer el factor o el coeficiente de utilización, de la luminaria en función de la relación distancia transversal, entre la altura de montaje.

Esta cifra nos da la eficiencia de la luminaria, ya que

si se multiplica por la energía luminosa de la lámpara, permite conocer la energía, que la luminaria es capaz de hacer llegar al pavimento. De acuerdo con la relación considerada.

En vista de que la radiación de los reflectores y difusores, tienen características diferentes, para dirigir la luz hacia el frente y hacia atrás en el mismo sentido.

La curva de utilización se utiliza en proyectos de alumbrado público, como puede observarse en la figura siguiente. (FIG. 3-7).

El valor obtenido de esta curva, se sustituye en la fórmula para obtener el flujo luminoso total.

$$\theta_T = \frac{E_{med} \times A \times D}{Fu \times Fc}$$

donde:

θ_T = Flujo luminoso total necesario.

E = Nivel de iluminación media.

A = Anchura de la Calzada en metros.

D = Distancia entre luminarios en metros.

Fu = Factor de utilización.

Fc = Factor de conservación.

El resultado así obtenido se sustituye en:

$$N_L = \frac{L}{D} + 1$$

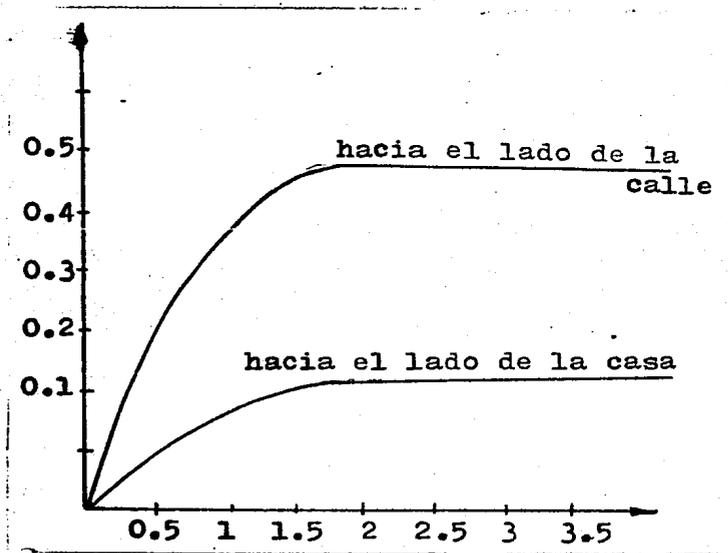
Para obtener el número de unidades luminosas necesarias

donde:

N_L = Número de Luminarias.

L = Longitud total de la Vía.

D = Separación entre los puntos de Luz.



Relación = $\frac{\text{Distancia Lateral}}{\text{Altura de Puntos de Luz}}$

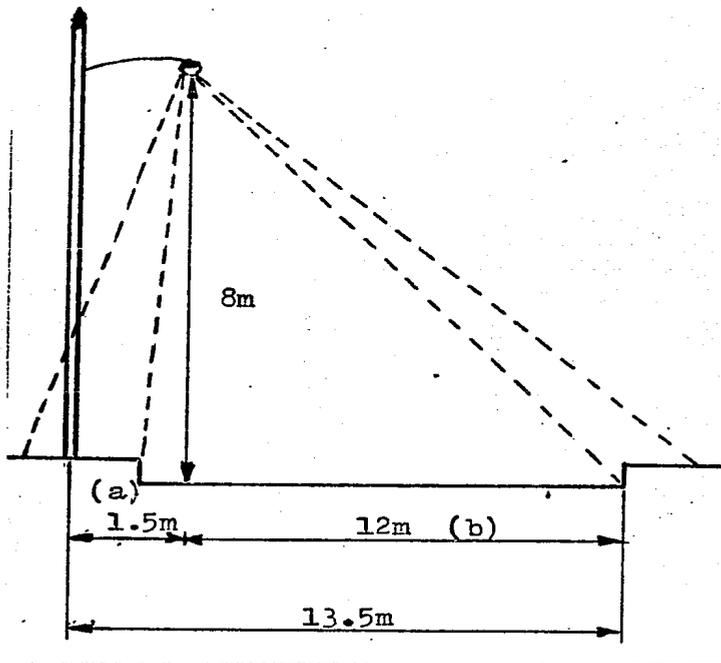
(FIG. 3-7) Curvas de Utilización de una Luminaria.

La forma de obtener el Factor de Utilización es:

$$\text{Relación anterior} = \frac{13.5}{8} - \frac{1.5}{8} = 1.5$$

Relación Posterior = $\frac{1.5}{8} = 0.19$ al ver la correspondencia en la gráfica.

$$\text{Factor de Utilización} = 0.47 + 0.05 = 0.52$$



(a) Lado hacia la casa o banqueta.

(b) Hacia la calle.

(FIG. 3-8) Medidas físicas para la curva de utilización.

3.7) SELECCION DEL TIPO DE LAMPARA A UTILIZAR.

3.7.1) LAMPARA INCANDESCENTE.

VENTAJAS.- No modifica el tono de color. Es compacta, -
permite fácil control del Haz Luminoso.

DESVENTAJAS.- Bajo rendimiento de flujo luminoso (lu---
mens por Watts), vida corta de 500 a 2000 -
hrs. Costo de operación elevado.

3.7.2) LAMPARA YODO-CUARZO.

VENTAJAS.- No modifica el tono de color. Es compacta, --
y permite un buen control del haz luminoso -
Buen rendimiento en mantenimiento. (El flujo
luminoso permanece constante a lo largo de -
su vida).

DESVENTAJAS.- Bajo rendimiento de flujo luminoso (Lumens
por Watt), por ser una fuente tubular limita
el control del haz. Vida media (2000-4000 --
Hrs). Alto costo de operación.

3.7.3) LAMPARA VAPOR DE MERCURIO.

VENTAJAS.- Larga vida, (24000 Hrs.), elevado rendimiento luminoso (Lumens por Watts). Bajo Costo de operación.

DESVENTAJAS.- Alto costo inicial. Con bulbo claro los colores se modifican radicalmente, por ser una fuente de gran tamaño, tiene un limitado control del haz luminoso. (Especialmente con lámparas con revestimiento de fósforo). No enciende inmediatamente después de una interrupción de energía.

3.7.4) LAMPARA DE ADITIVOS METALICOS.

VENTAJAS.- Vida útil moderada (7500 Hrs.). Muy elevado rendimiento luminoso (Lumens por Watt). Permite ver los colores de forma natural. Bajo costo de operación.

DESVENTAJAS.- Alto costo inicial. No enciende inmediatamente después de una interrupción de energía.

3.7.5) LAMPARA FLUORESCENTE.

VENTAJAS.- Vida útil moderada (7500-9000 Hrs.) Alto ren-

dimiento luminoso (Lumens por Watt),

Bajo costo de operación.

DESVENTAJAS.- Alto costo inicial. Por su forma y longitud, no permite un control eficaz del haz luminoso, su rendimiento luminoso varía mucho con la temperatura ambiente.

3.7.6) LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION.

VENTAJAS.- Larga vida útil (24000 Hrs.) La de mayor rendimiento luminoso. Bajo costo de operación. - Su luz de color amarillo pálido, permite lograr efectos especiales en fachadas.

DESVENTAJAS.- Alto costo inicial, regular control del haz luminoso, su luz monocromática modifica los colores.

3.8) TABLAS PARA SELECCION RAPIDA DE LAMPARAS.

	INCANDESCENTES	YODO CUARZO	VAPOR DE MERCURIO
Costo inicial	Bajo	Bajo	Alto
Consumo de energía. - (para igualdad de luz)	Alto	Alto	Bajo
Costo de operación -- anual.	Medio	Medio	Bajo
Tamaño del luminario.	Medio	Pequeño	Medio
Períodos de encendido largos (más de 1000 - horas al año).	Regular	Regular	Bueno
Períodos de encendido cortos (Menos de 1000 horas al año).	Buena	Buena	Buena
Definición de color.	Buena	Muy Buena	Regular
Consideraciones de --- lugar de montaje.	Regular	Regular	Buena
Control de haz luminoso.	Muy Bueno	Bueno	Regular
Proyección de Gran al-- cance.	La Mejor	Regular	Regular
Proyección de Mediano alcance.	Buena	Buena	Buena

	ADITIVOS METALICOS	FLUORES CENTE	VAPOR DE SODIO DE ALTA PRE SION.
Costo Inicial.	Alto	Alto	Alto
Consumo de energía (para igualdad de luz)	Bajo	Bajo	Bajo
Costo de operación anual.	Bajo	Bajo	Bajo
Tamaño del luminario.	Medio	Grande	Medio
Períodos de encendido largos (más de 1000 - horas al año).	Bueno	Bueno	Bueno
Períodos de encendido cortos (Menos de 1000 horas al año).	Buena	Regular	Buena
Definición de color	Buena	Regular	Regular
Consideraciones de -- lugar de montaje.	Buena	Regular	Buena
Control de haz luminoso.	Bueno	Pobre	Regular
Proyección de Gran alcance	Regular	Pobre	Regular
Proyección de Mediano Alcance.	Buena	Regular	Buena

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTO DE CALCULO DEL NIVEL DE ILUMINACION PUNTO
POR PUNTO EN UN AREA ABIERTA.

4.1.). GENERALIDADES.

El presente capítulo describe la metodología, para obtener el nivel de iluminación punto a punto en un área abierta, utilizando un algoritmo, el cual se aplicará en la elaboración de un programa de computadora, para obtenerlo en el menor tiempo, (que con cálculos manuales), la mejor distribución de luminarios y puntos de enfoque.

PROCEDIMIENTO DE CALCULO.

4.2.). DETERMINAR EL NIVEL LUMINOSO.

El nivel luminoso adecuado a partir de tablas previamente establecidas, las cuales son productos de investigaciones realizadas en donde no se ha comprobado una fatiga visual. Los organismos que realizan esto en México, son la Sociedad Mexicana de Ingeniería en Iluminación y la Sociedad de Ingeniería en Iluminación (IES).

4.3.). SELECCIONAR EL TIPO DE LAMPARA.

De acuerdo con el capítulo III, se selecciona el tipo de lámpara a utilizar en función del costo de operación, tamaño del luminario, definición del color, rendimiento luminoso-inversión inicial, etc.

Eligiendo a la que mejor convenga a las necesidades establecidas en iluminación y economía.

4.4.). SELECCION DEL REFLECTOR O LUMINARIO.

De acuerdo con el capítulo 3, tradicionalmente se tienen considerados dos tipos básicos de reflectores. Para uso rudo y Servicio General.

El Tipo de Uso Rudo ó Trabajo pesado, consiste en un recipiente portablastro de resistente aluminio fundido a presión, piezas de montaje a prueba de corrosión y una cubierta de vidrio templado, proveen una larga vida con mantenimiento mínimo. Resisten mal trato y condiciones ambientales severas.

El Tipo de Usos Generales, se fabrica con menor resistencia. Generalmente en lamina de aluminio, pero suficientemente fuerte para resistir las condiciones atmosféricas del exterior.

Ambos tipos además de combinar cualidades de resisten-

cia física, deben de tener buena presentación estética y Ligereza.

Se selecciona el reflector en función de la distancia del reflector al punto, considerando que a mayor distancia se requerirá de un haz mas estrecho.

Según la abertura del haz los reflectores se clasifican como:

ABERTURA EN GRADOS	TIPO NEMA
10° hasta 18°	1
18° hasta 29°	2
29° hasta 46°	3
46° hasta 70°	4
70° hasta 100°	5
100° hasta 130°	6
130° y más	7

4.5.). DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE REFLECTORES.

A partir del "Método del haz Luminoso".

Teniendo en cuenta que:

LUMENES DEL HAZ REFLECTOR:

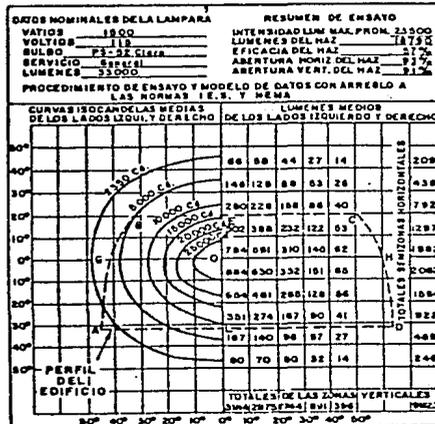
Es el valor del flujo luminoso, que emite el reflector ó el producto del flujo luminoso de la lámpara por la eficiencia del reflector.

COEFICIENTE DE UTILIZACION DEL HAZ:

Es el porcentaje del haz luminoso, que incide sobre el área a iluminar.

Como regla general mientras mayor sea la superficie -- por iluminar, mayor será el coeficiente de utilización.

La Fig. 4-1 Muestra la obtención del coeficiente del haz luminoso, partiendo de la determinación de ángulos verticales y horizontales. Trazando líneas en las curvas isocandela, se tiene la cantidad de lúmenes que incide en el área a iluminar.



(FIG. 4-1) Obtención del Coeficiente de Utilización.

La fórmula a partir de la cual se obtiene el número de reflectores es:

$$\text{No. de reflectores} = \frac{A \times E}{LH \times CU \times FM}$$

A = área a iluminar.

E = Nivel de iluminación recomendado.

LH = Lúmenes del haz.

CU = Coeficiente de Utilización.

FM = Factor de Mantenimiento.

4.6.). FACTOR DE MANTENIMIENTO.

La Luz emitida por un luminario, se reduce a través -- del tiempo por, reducción del flujo luminoso de las lámparas, producto de la degradación de materiales y por suciedad del -- medio ambiente. Los factores de mantenimiento, se estima entre 0.65 y 0.85.

4.7.). DETERMINACION DEL NUMERO Y LOCALIZACION DE REFLECTORES Y POSTES.

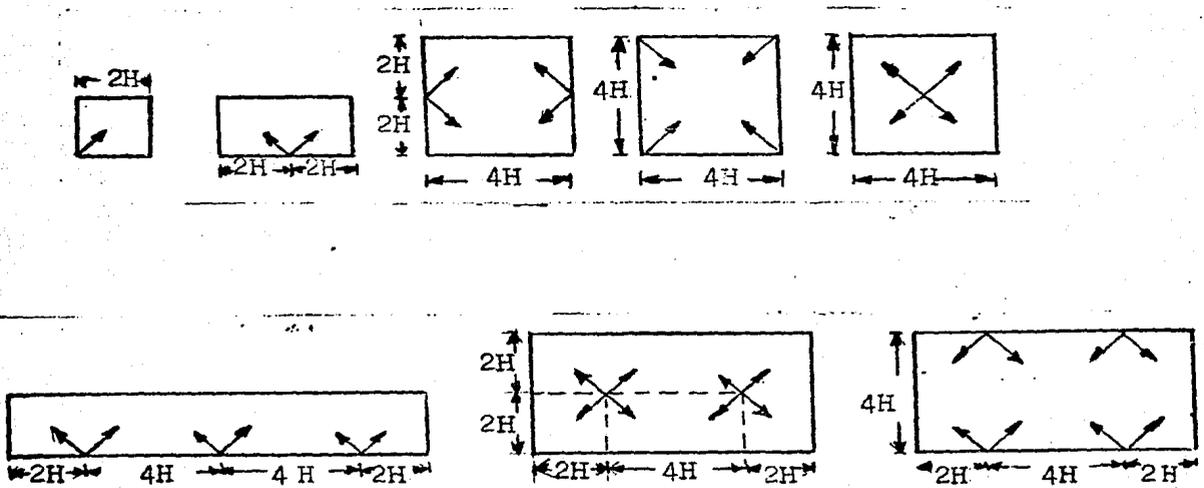
Después de determinar el número de reflectores, el paso siguiente será determinar la altura de montaje y el arreglo, así como el número de postes y su colocación.

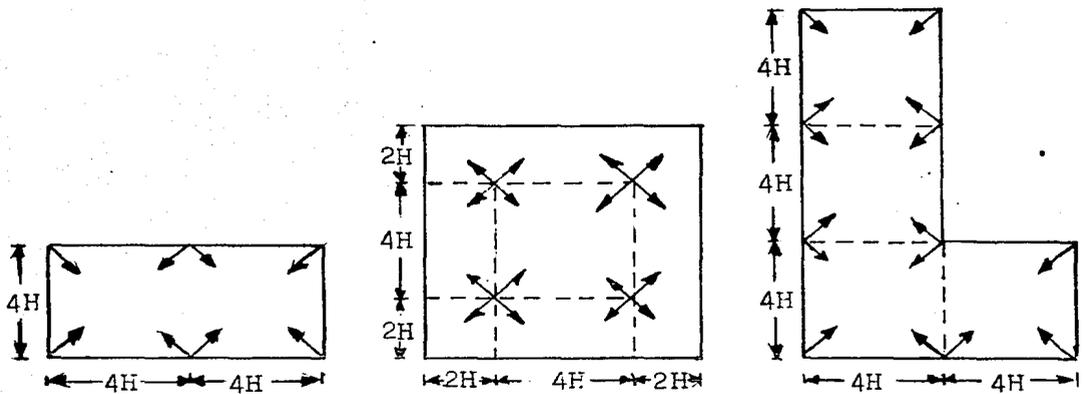
Para obtener una instalación económica, deberá utilizarse el menor número de unidades de la mayor potencia, que produzcan una distribución uniforme y una cobertura eficiente.

Mientras mayor número de postes se utilicen, se obtendrá mayor uniformidad, visibilidad y reducción de sombras.

Como se menciona en el capítulo III, la separación entre postes, se recomienda en función de la altura de montaje H .

Inversamente si se fija una separación entre postes - la altura de montaje queda determinada.





(Fig. 4-2) Recomendación de Localización de Postes y Luminarios.

4.8.) . GUIA PARA SELECCIONAR LA DISTRIBUCION DEL HAZ.

<u>Aplicaciones Representativas.</u>	<u>Distancia Usual de Tiro (pies).</u>	<u>Distribución del Haz.</u>
--------------------------------------	--	------------------------------

Edificios de dos o tres pisos de alto iluminados desde la marquesina o postes en la banqueta.

10 - 30

Ancho

Edificios iluminados desde una distancia

<u>Aplicaciones Representativas.</u>	<u>Distancia Usual de Tiro (pies).</u>	<u>Distribución de Haz.</u>
regular o acerca de enfrente:		
Areas menores de 3000 pies cuadrados.	50 - 100	Mediano
Areas mayores de 3000 pies cuadrados.	50 - 100	Mediano
Areas menores de 3000 pies cuadrados.	100 - 150	Angosto
Areas mayores de 3,000 pies cuadrados.	100 - 150	Mediano
Areas menores de 10,000 pies cuadrados.	150 - 300	Angosto
Areas mayores de 10,000 pies cuadrados.	150 - 300	Mediano
Estadios de Futbol.	125 pies hasta cerca de la -- línea de banda.	Angosto.

NOTA:

Después de obtener un arreglo para iluminar un área - por los pasos anteriores, se procede a verificar la iluminación en cada punto por medio de la computadora, para tener la seguridad de que existe realmente una uniformidad, buena cobertura y el nivel recomendado de iluminación en el área.

APLICANDO LA LEY DE LOS COSENOS:

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

definida por:

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \theta$$

E = Nivel de iluminación recomendado.

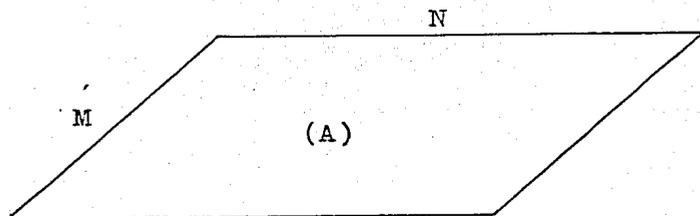
I = Intensidad Luminosa.

d = Distancia del luminario al punto.

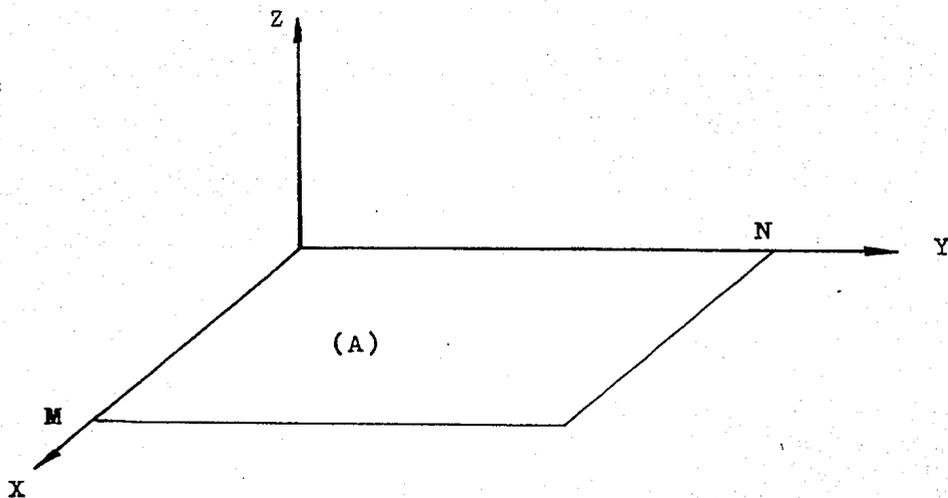
θ = Angulo entre la perpendicular y los rayos que van al punto.

4.9.) . ALGORITMO PARA LA APLICACION DEL METODO PUNTO POR PUNTO.

1). Sea un área abierta (A), la que se desea iluminar con reflectores.



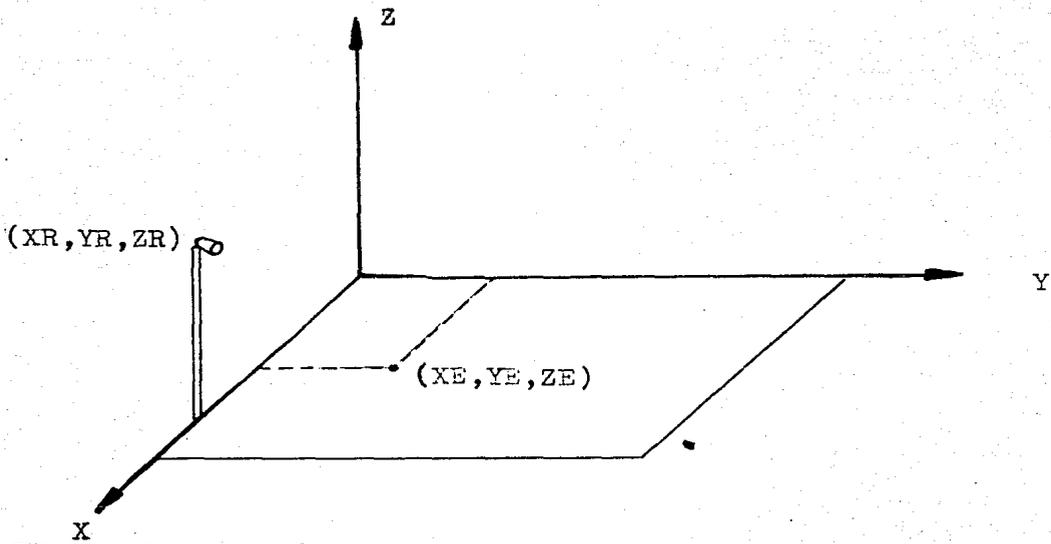
2). A la que se le asigna un sistema de ejes coordenados (X, Y, Z).



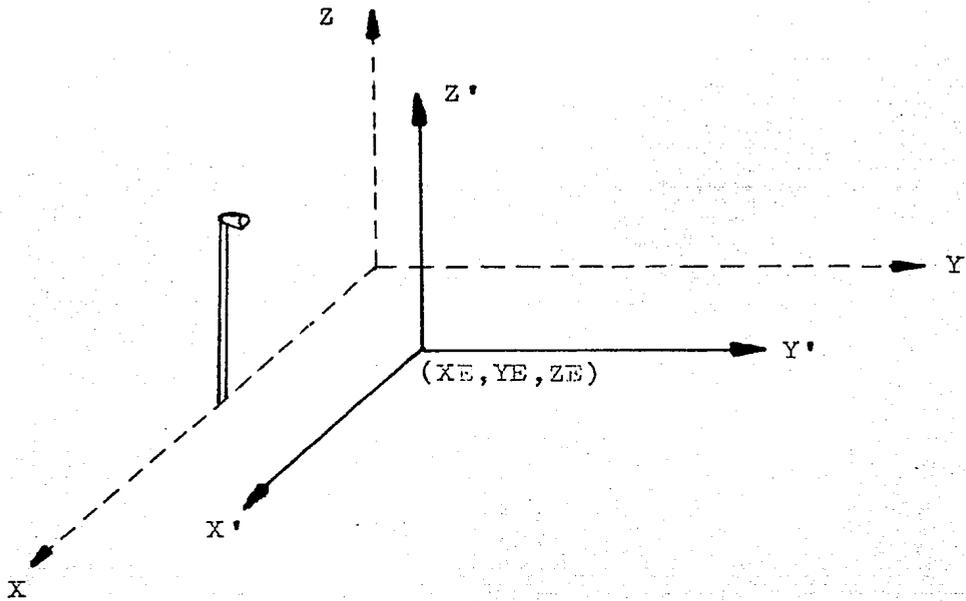
3). Del cálculo previo, se colocan en el área los luminarios obtenidos, quedando definidas para cada uno de los luminarios:

Las coordenadas del reflector (X_R, Y_R, Z_R) .

Las coordenadas del punto de enfoque (X_E, Y_E, Z_E) .



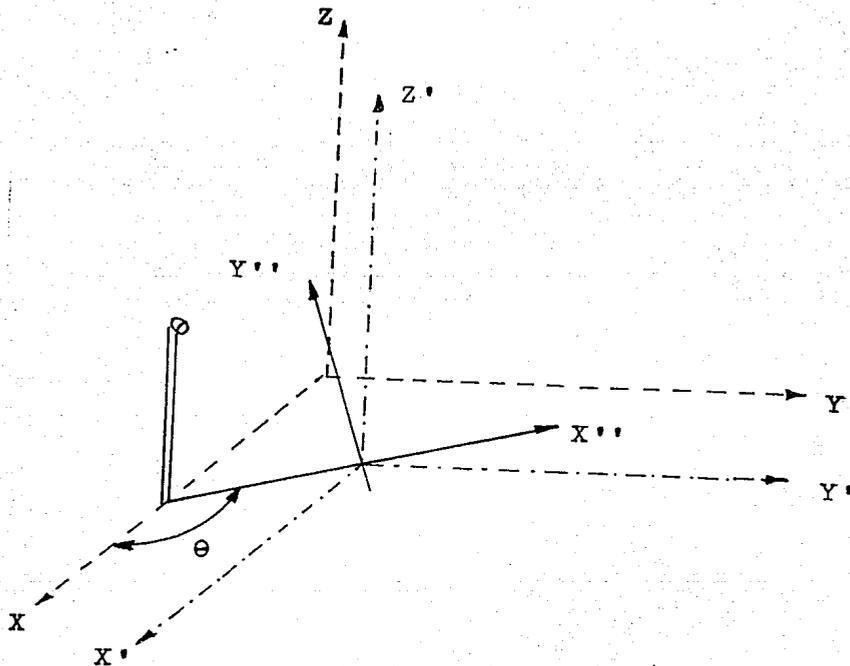
4). Se obtiene un nuevo sistema de ejes coordenados - (X', Y', Z') , con el origen en el punto de enfoque del luminoso bajo análisis.



5). Se hace una rotación del sistema (X', Y', Z') , para obtener el sistema (X'', Y'', Z'') , haciendo coincidir -- los ejes X'' y Y'' , con los ejes asociados a las curvas isocandelas del reflector (ver Apéndice pág. 179).

El ángulo θ se obtiene por la pendiente en el plano - X, Y , a partir de las coordenadas del punto de enfoque, y -- las coordenadas de la base del poste.

$$\text{Tg } \theta = \frac{XE - YR}{XE - XR}$$



6). Las coordenadas del reflector en el sistema trans formado son:

$$XB = - \sqrt{(XE - XR)^2 + (YE - YR)^2}$$

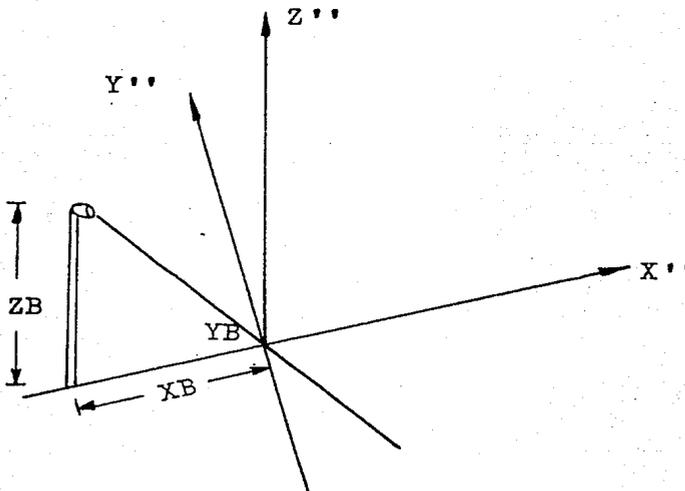
Obtenida a partir de las coordenadas originales, encontrando la distancia entre dos puntos.

$YB = 0.0$ Valor determinado por la forma de transformación de los ejes.

$ZB = ZR - ZE$ Coordenada en Z.

NOTA:

En el programa $X_R = X_B$, $Y_R = Y_B$, $Z_R = Z_B$.

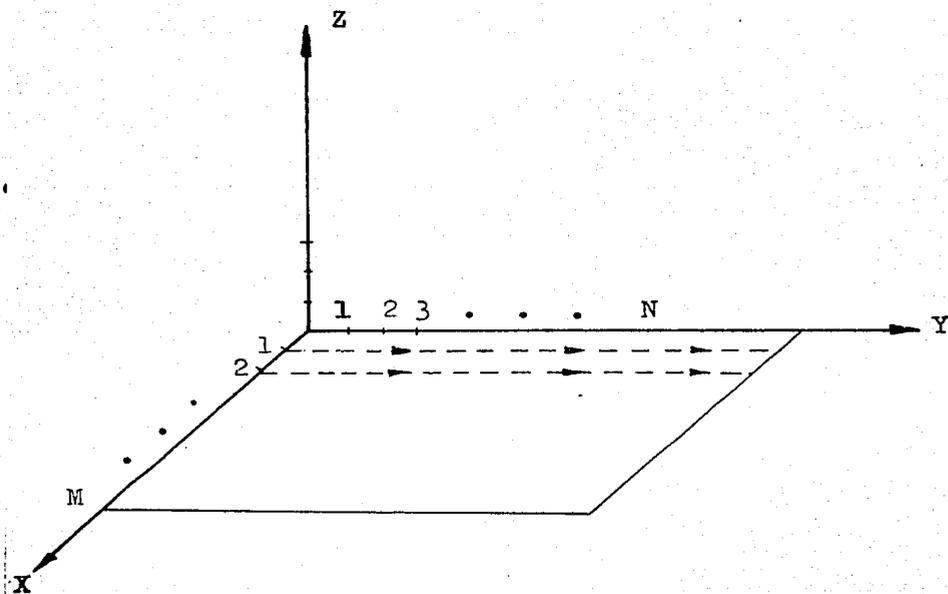


Las fórmulas siguientes las utilizamos, para pasar del sistema original al sistema asociado del reflector en estudio. (Ver Apendice pág. 167).

$$x'' = \frac{2(x - h) + (Y - K + (h - X) \operatorname{Tg}(\theta)) \operatorname{SEN}(2\theta)}{2 \operatorname{COS}(\theta)}$$

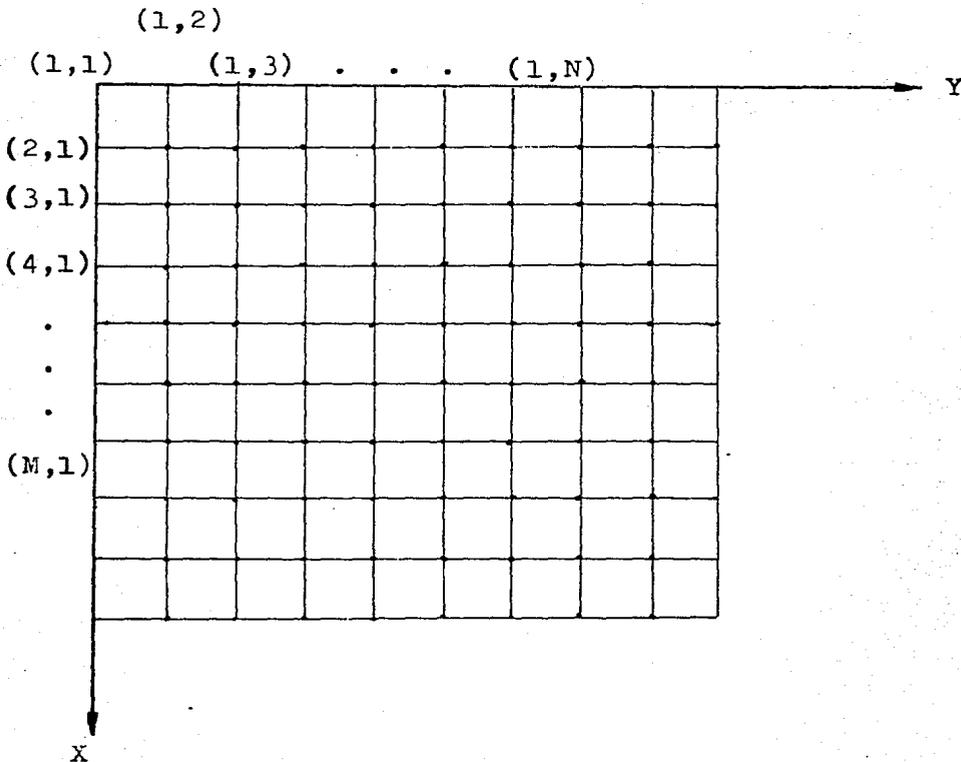
$$Y'' = (Y - K + (h - X) \operatorname{Tg}(\theta)) \operatorname{COS}(\theta)$$

7). Con el área referida a los ejes (X, Y, Z), se hace un barrido, para obtener pares de coordenadas, y obtener en seguida la iluminación punto a punto, en el área del luminario de Análisis.

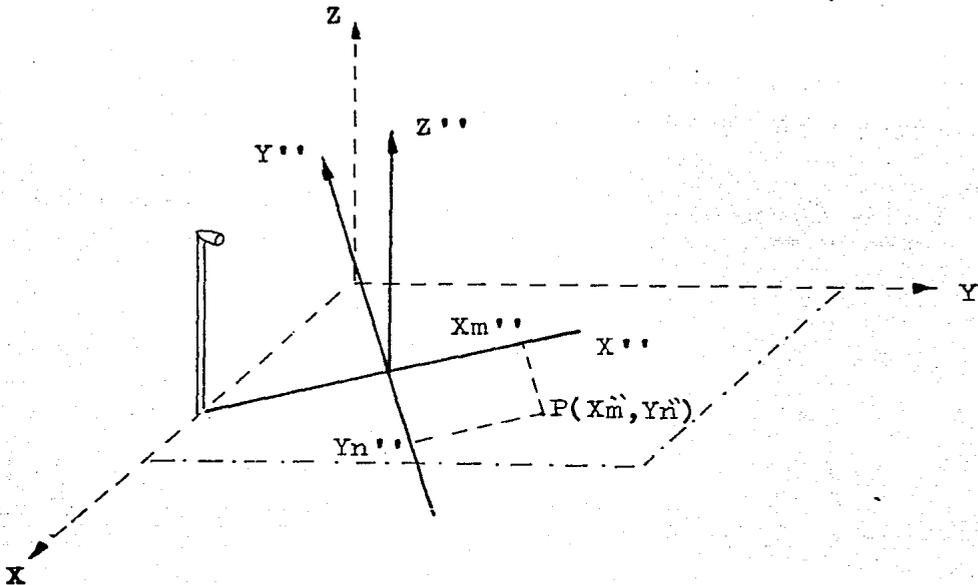


$(0,0)$	$(1,0)$
$(0,1)$	$(1,1)$
$(0,2)$	$(1,2)$
$(0,3)$	$(1,3)$
$(0,4)$	$(1,4)$
.	.
.	.
.	.
$(0,N)$	$(1,N)$

8) Cada para ordenado se hace corresponder con un elemento de la matriz SLUX.



9). Para obtener la iluminación en un punto, se considera un par ordenado cualquiera $P(X_m, Y_n)$, si se refiere al sistema transformado se obtendrán dos coordenadas $X_{m''}$, $Y_{n''}$, como se muestra en la figura.

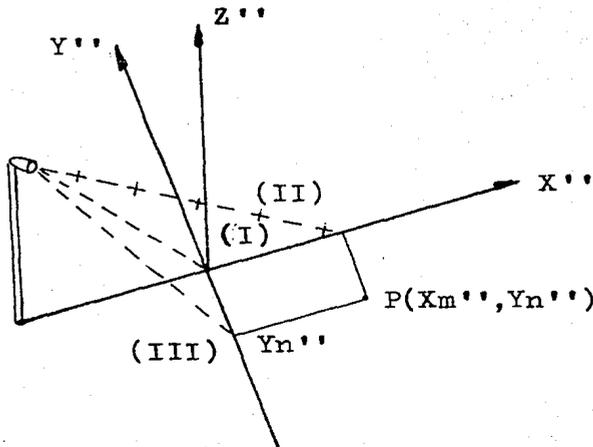


10). Uniendo el punto donde está localizado el reflector y el nuevo origen se obtiene una recta de referencia, a partir de la cual se pueden obtener ángulos verticales y horizontales. (I).

Si se une el punto donde está localizado el reflector y $X_{m''}$, se obtiene la recta (II).

Si se une el punto donde está localizado el reflector

y Yn'' , se obtiene la recta (III).



11). Con las coordenadas del reflector referidas al -- nuevo sistema, Xm'' , Yn'' , (coordenadas del punto considerado) y el nuevo origen pueden calcularse los números directo-- res de las rectas (I) , (II) y (III) dirigidas hacia abajo,

- (1) coordenadas del reflector (X_B , O , Z_B).
- (2) coordenadas del nuevo Origen ($0,0,0$).
- (3) coordenadas de Xm'' (Xm'' , $0,0$)
- (4) coordenadas de Yn'' ($0,Yn''$, 0).

a). Los números directores de (I) obtenidos de las -- coordenadas (1) y (2) son:

$$[0-XB, 0-0, 0-ZR] = [-XB, 0, -ZB] = [RXD, RYD, RZD]$$

B) Números directores de (II) obtenidos con las coordenadas (1) y (3) son:

$$[Xm'' - XB, 0, -ZB] = [PXD, RYD, RZD]$$

c) Números directores de (III) obtenidos con las coordenadas (1) y (4) son:

$$[0-XB, Yn''-0, 0-ZB] = [-XB, Yn'', -ZB] = [RXD, PYD, RZD]$$

12) DEF. 1 . Si dos rectas dirigidas en el espacio tienen como números directores a_1, b_1, c_1 y a_2, b_2, c_2 respectivamente, el coseno del ángulo que existe entre ellos es.

$$\cos \theta = \frac{a_1(a_2) + b_1(b_2) + c_1(c_2)}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2} \sqrt{a_2^2 + b_2^2 + c_2^2}}$$

13) De acuerdo a la definición 1 :

El coseno del ángulo vertical determinado por las rectas (I) y (II) es:

$$\cos \theta_V = \frac{RXD(PXD) + RYD(RYD) + RZD(RZD)}{\sqrt{RXD^2 + RYD^2 + RZD^2} \sqrt{PXD^2 + RYD^2 + RZD^2}}$$

Si $RYD = 0.0$ reduciendo tenemos:

$$\cos \theta_V = \frac{RXD(PXD) + RZD^2}{\sqrt{RXD^2 + RZD^2} \sqrt{PXD^2 + RZD^2}}$$

El coseno del ángulo horizontal determinado por (i) y (III) es:

$$\cos \theta_H = \frac{RXD (RXD) + RYD (PYD) + RZD (RZD)}{\sqrt{RXD^2 + RYD^2 + RZD^2} \sqrt{RXD^2 + PYD^2 + RZD^2}}$$

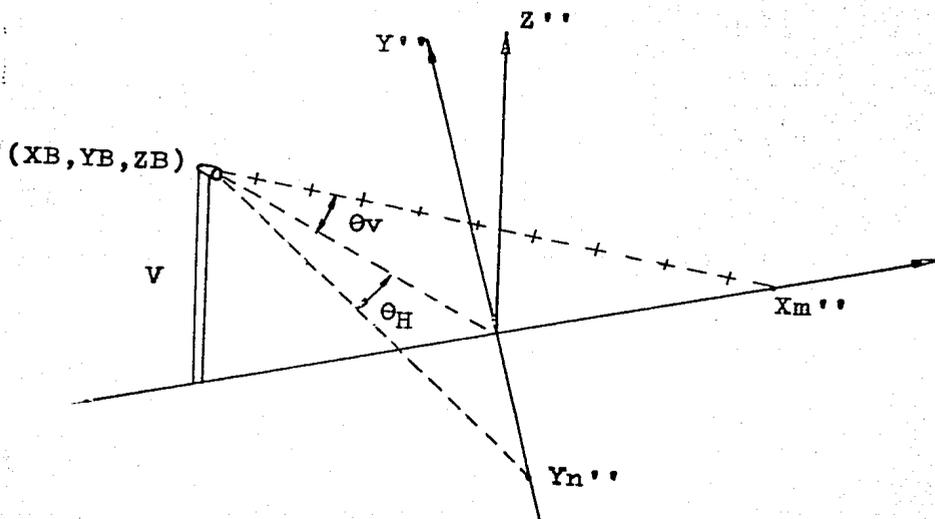
si $RYD = 0.0$ reduciendo tenemos:

$$\cos \theta_H = \frac{RXD^2 + RZD^2}{\sqrt{RXD^2 + RZD^2} \sqrt{RXD^2 + PYD^2 + RZD^2}}$$

Sacando el inverso de cada uno se obtienen los ángulos.

$\theta_V = \text{ángulo vertical} = TV$

$\theta_H = \text{ángulo horizontal} = TH$



14) Obtenidos los ángulos vertical y horizontal, se le asigna un valor en cadenas al punto considerado, si es que está dentro de los rangos. El valor se asigna a la variable -- CAN. (ver Apendice pág. 179).

15) Se calcula la distancia del reflector al punto con las coordenadas de ambos.

Si (X_B, Y_B, Z_B) son las coordenadas del reflector.

y (X_m'', Y_n'', Z_E) son las coordenadas del punto considerado.

La distancia es:

$$DP = \sqrt{(X_B - X_m'')^2 + (Y_B - Y_n'')^2 + (Z_B - Z_E)^2}$$

16) Se aplica la fórmula:

$$E = \frac{I}{D^2} \cos \theta$$

Si: $RXDR = 0$

$RYDR = 0$

$$\cos \theta_1 = \frac{RXDR (RXTD) + RYDR (RYTD) + RZDR (RZTD)}{\sqrt{RXDR^2 + RYDR^2 + RZDR^2} \sqrt{RXTD^2 + RYTD^2 + RZTD^2}}$$

Simplificando:

$$\cos \theta_1 = \frac{RZDR (RZTD)}{\sqrt{RZDR^2} \sqrt{RXTD^2 + RYTD^2 + RZTD^2}}$$

$$\cos \theta_1 = \frac{RZDR (RZTD)}{RZDR \left(RXTD^2 + RYTD^2 + RZTD^2 \right)^{1/2}}$$

Para esto hay que :

Obtener los números directores de la recta vertical al plano V.

Si las coordenadas del reflector son (X_B, Y_B, Z_B) , y las coordenadas de la base del reflector son (X_B, Y_B, Z_E)

Los números directores quedan definidos como:

$$\left[X_B - X_B, Y_B - Y_B, Z_E - Z_B \right] = \left[RXDR, RYDR, RZDR \right]$$

17) Obtener los números directores que unen el reflector con el punto en estudio.

Si las coordenadas del reflector son (X_B, Y_B, Z_B) y las coordenadas del punto son (X_m'', Y_n'', Z_E)

Los números directores quedan definidos como:

$$\left[X_m'' - X_B, Y_n'' - Y_B, Z_E - Z_B \right] = \left[R_{XTD}, R_{YTD}, R_{ZTD} \right]$$

18) De acuerdo a la definición 1, el coseno entre estas líneas en el espacio es:

$$\cos \theta_1 = \frac{R_{XDR}(R_{XTD}) + R_{YDR}(R_{YTD}) + R_{ZDR}(R_{ZTD})}{\sqrt{R_{XDR}^2 + R_{YDR}^2 + R_{ZDR}^2} \sqrt{R_{XTD}^2 + R_{YTD}^2 + R_{ZTD}^2}}$$

19) Sustituyendo en la formula: $E = \frac{I}{D^2} \cos \theta$

Las variables obtenidas tenemos:

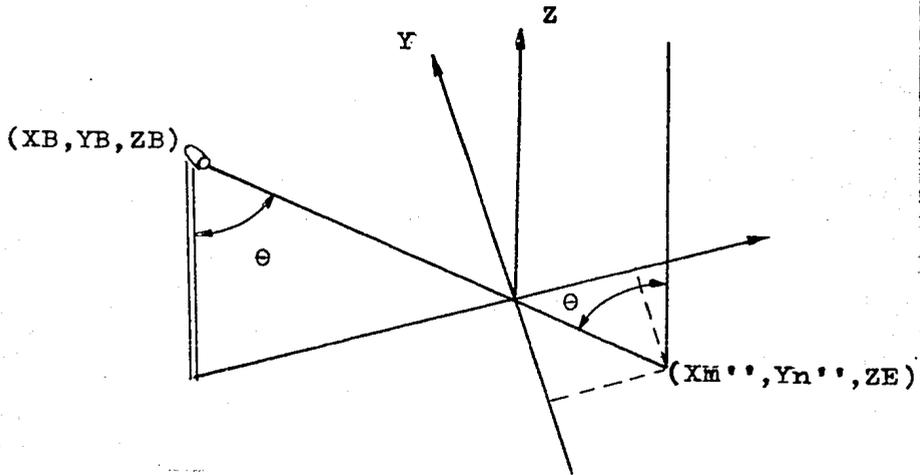
$$E = \frac{CAN}{DP^2} \quad CT1$$

"Que es la iluminación en el Punto considerado"

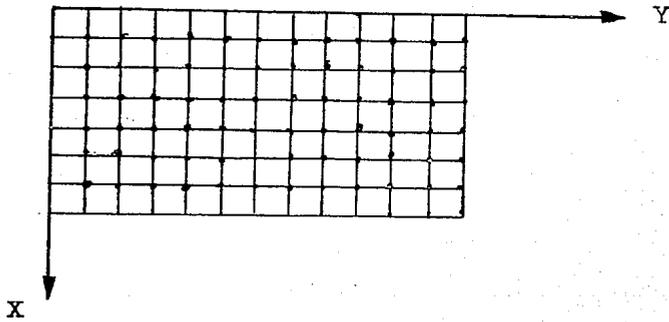
CAN = Valor en las candelas correspondiente al punto.

DP = Distancia del Reflector al Punto.

CT1 = Coseno del ángulo que hay entre la recta vertical al plano, y la recta que une al reflector con el punto analizado.



20) Después de calcular la iluminación en cada punto y obtener la matriz resultante SLUXT.



Se hace una graficación a colores tomando en cuenta rangos, que van de cero hasta un valor máximo considerado.

4.10) CALCULO DE LA ILUMINACION EN LAS CANCHAS DE BALONCESTO DE LA ENEP-A.

Tratando de dar una aplicación práctica a la teoría antes desarrollada, se consideró un área definida para una actividad específica, en la que se tiene una distribución de luminarios y postes, una altura de montaje, direccionamiento, tipo de lámpara, tipo de reflector, etc.

Con el fin de poder verificar la iluminación en cada uno de sus puntos, y poder sacar conclusiones acerca de la distribución existente, además, de encontrar el mejor direccionamiento de los reflectores, para que la iluminación sea lo más uniforme posible.

Con la ayuda de un programa de computadora que encierre toda la teoría anterior, se calcula el valor de la iluminación en cada punto del área considerada, teniendo en cuenta la aportación de todos y cada uno de los luminarios que intervienen en el proyecto.

Obteniendo así en forma gráfica una representación a colores del área iluminada, donde cada punto tendrá un tono específico, en función del valor de iluminación total que se tenga.

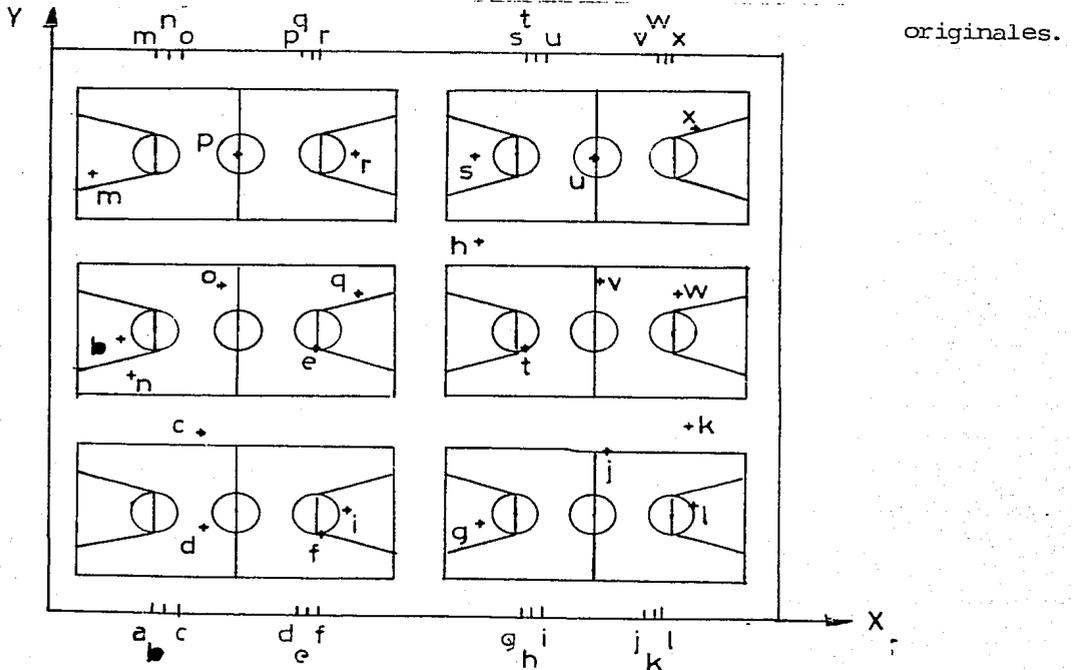
Las Características Físicas del Area a Iluminar son :

Area destinada a canchas de baloncesto y balonvolea cu
ya superficie es de 3600 m².

Los reflectores se encuentran localizados en grupos de
tres, a una altura de montaje de 9.77 m, sobre postes, (la a
altura de los postes fué determinada con la ayuda de un trási-
to).

Existen ocho postes con tres reflectores iluminando el á
rea.

La localización de los luminarios y puntos de enfoque -
originales es, (Fig 4-3); Distribución de luminarios y puntos de enfoque



Las coordenadas del reflector y puntos de enfoque son:

	REFLECTOR	ENFOQUE
a.-	(7.50,0.00,9.77)	(4.00,9.00,0.0)
b.-	(8.30,0.00,9.77)	(4.00,29.9,0.0)
c.-	(9.10,0.00,9.77)	(13.5,20.0,0.0)
d.-	(19.00,0.0,9.77)	(12.5,11.0,0.0)
e.-	(19.80,0.0,9.77)	(23.0,33.0,0.0)
f.-	(20.60,0.0,9.77)	(24.00,9.0,0.0)
g.-	(38.00,0.0,9.77)	(35.00,9.0,0.0)
h.-	(38.80,0.0,9.77)	(35.0,41.0,0.0)
i.-	(39.60,0.0,9.77)	(45.0,11.0,0.0)
j.-	(51.00,0.0,9.77)	(47.0,18.5,0.0)
k.-	(51.80,0.0,9.77)	(53.0,19.5,0.0)
l.-	(52.60,0.0,9.77)	(55.0,11.0,0.0)
m.-	(7.50,60.0,9.77)	(3.00,48.0,0.0)
n.-	(8.30,60.0,9.77)	(6.00,25.0,0.0)
o.-	(9.10,60.0,9.77)	(12.5,35.0,0.0)
p.-	(19.0,60,0,9.77)	(15.0,49.0,0.0)
q.-	(19.8.60.0,9.77)	(26.0,31.0,0.0)
r.-	(20.6,60.0,9.77)	(26.0,49.3,0.0)
s.-	(38.0,60.0,9.77)	(34.8,48.0,0.0)
t.-	(38.8,60.0,9.77)	(38.3,34.0,0.0)
u.-	(39.6,60.0,9.77)	(44.6,48.6,0.0)
v.-	(51.0,60.0,9.77)	(46.0,35.0,0.0)
w.-	(51.8,60.0,9.77)	(54.0,34.0,0.0)
x.-	(52.6,60.0,9.77)	(55.0,51.0,0.0)

4.10.1) CARACTERISTICAS LUMINOTECNICAS EXISTENTES:

El área está iluminada por lámparas de Aditivos Metálicos de 1000 watts, EU-HOR está denominación nos indica que puede operar con la base de la lámpara hacia arriba hasta la horizontal.

Cada lámpara produce 100,000 lumenes.

Se tiene dos tipos de reflectores uno de haz angosto y otro de haz ancho, tipos NEMA 3H x 4V y 7H x 6V respectivamente.

Las curvas isocandelas de los reflectores usadas para el cálculo por computadora están en las figuras 4-4 y 4-5.

Los niveles de iluminación recomendados para baloncesto y balonvolea son:

baloncesto recreativo	100 luxes.
baloncesto de competencia	300 luxes.
balonvolea recreativo	100 luxes.
balonvolea de competencia	200 luxes.

Un cálculo rápido por el Método de Lúmenes basado en -- los reflectores instalados, el área a iluminar, un coeficiente de utilización de 0.8, un factor de mantenimiento de 0.8 (los -

factores de utilización y mantenimiento son estimativos).

CONSIDERANDO QUE:

Los lúmenes del haz angosto = 32,075 --
lúmenes.

Los lúmenes del haz ancho = 58,872 lúme-
nes.

Los lúmenes totales del HAZ, considerando doce reflecto-
res de haz ancho y doce de haz angosto son igual a 1,091,364 -
lúmenes.

Así el nivel luminoso será:

$$N.V. = \frac{LTH \times CU \times FM}{Area} = \frac{1,091,364 \times 0.8 \times 0.8}{3600} = 194 \text{ luxes.}$$

donde:

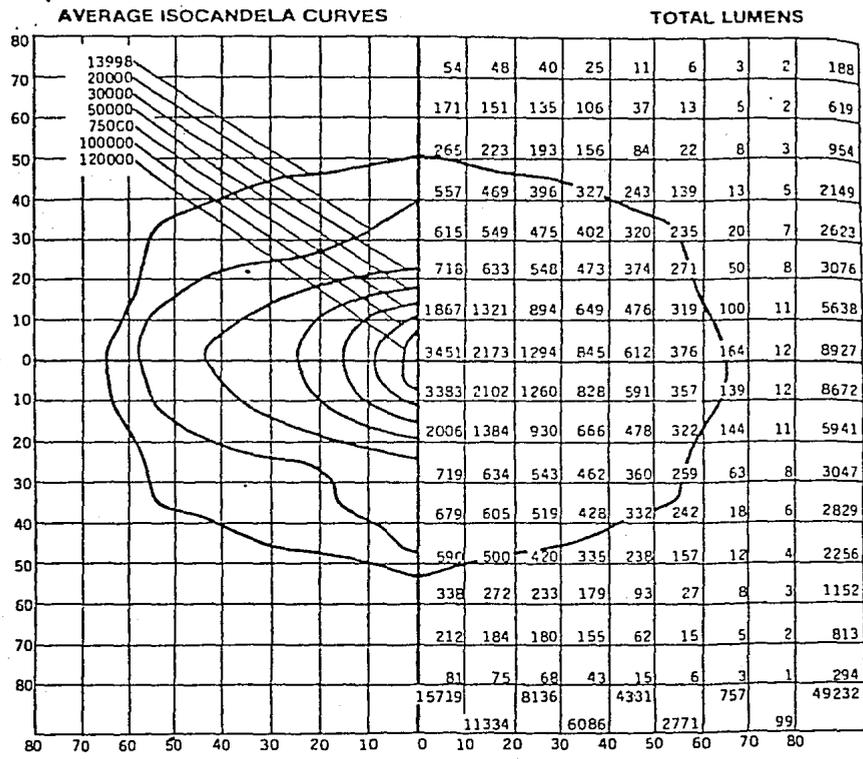
N.V. = Nivel luminoso.

LTH = Lúmenes Totales del Haz

CU = Coeficiente de Utilización.

FM = Factor de Mantenimiento.

Max. CP: 139,977 Total Eff.: 63.3%
 Centerline CP: 130,223 Beam Spread: 130H x 104V
 Beam Eff.: 55.9% NEMA Type: 7H x 6V



(FIG 4-5) Curvas Isocandelas de las lámparas de HAZ ANGOSTO.

4.10.2) CONSIDERACIONES PARA EL CALCULO DE LA ILUMINACION POR MEDIO DE LA COMPUTADORA.

- I) Se calculará la iluminación a nivel del piso.
- II) Se calcula la iluminación en el área, tomando incrementos de un metro.

III Se considera la aportación de cada luminario en toda el área, y se sacan simultaneamente los valores para obtener la matriz Total Sluxt

IV Físicamente los reflectores tienen pequeñas variaciones en su altura de montaje, por lo que se considera que están todos a un mismo nivel.

V Se obtiene graficamente la distribución luminosa original.

VI Basandose en la gráfica anterior, se hace al azar una serie de modificaciones, para lograr que la iluminación este distribuida lo mas uniformemente posible, obteniendo una nueva distribución, basada en un cálculo exacto ya que se calcula en cada punto.

4.10.3) DISTRUBICION ORIGINAL.

Haciendo una prueba con los reflectores dirigidos a los puntos de enfoque originales, y considerando las curvas isocandelas de los reflectores, se tiene una distribución gráfica como se muestra en la fotografía. (Fig. 4-6).

Donde el color queda determinado por el valor de la iluminación en el punto, así se tienen los siguientes rangos:

Blanco : de 857 luxes a 1000 luxes.
Amarillo : de 714 luxes a 856 luxes.
Verde : de 571 luxes a 713 luxes.
Azul Cielo : de 428 a 570 luxes.
Rosa : de 285 luxes a 427 luxes.
Rojo : de 142 luxes a 284 luxes.
Morado : de 0 luxes a 141 luxes.

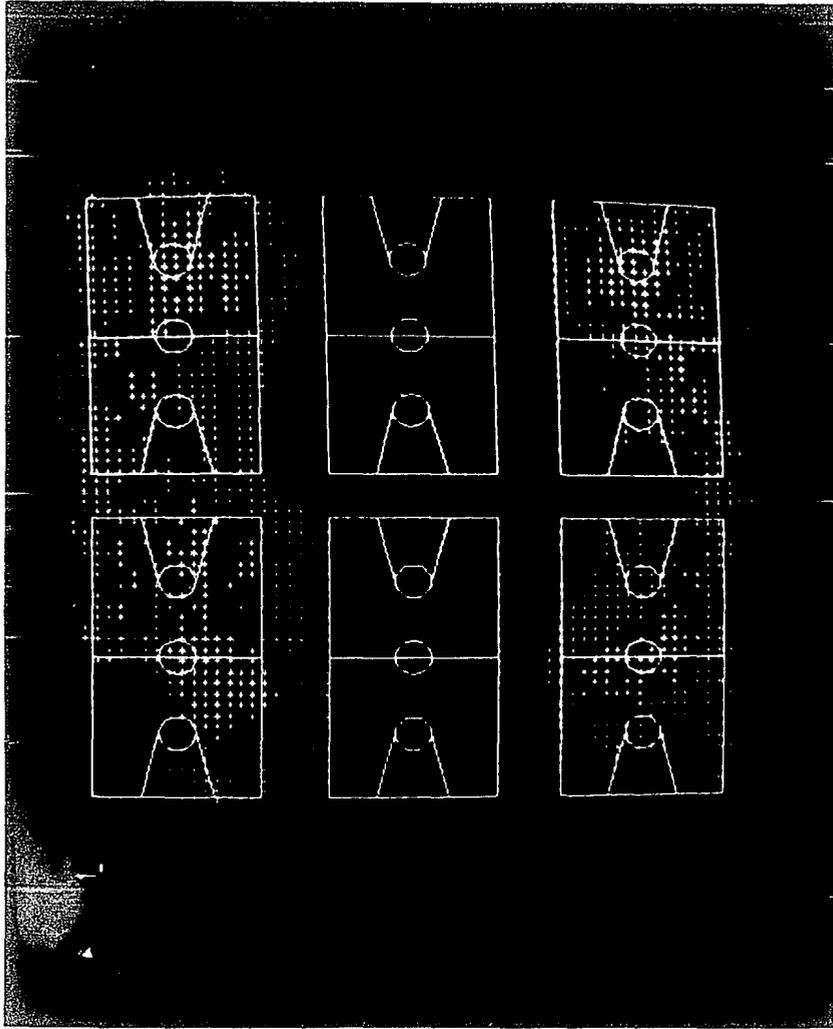


Fig. 4-6 Representación Gráfica de la Distribución Original

El valor de iluminación máximo, en la representación gráfica es de 1008 luxes, localizado en el punto con coordenadas (48,49).

El punto de menor iluminación es de 98 luxes, localizado en las coordenadas (0,59).

Así el Factor de Uniformidad con la distribución original será.

$$F.U. = \frac{1008}{98} = 10.28$$

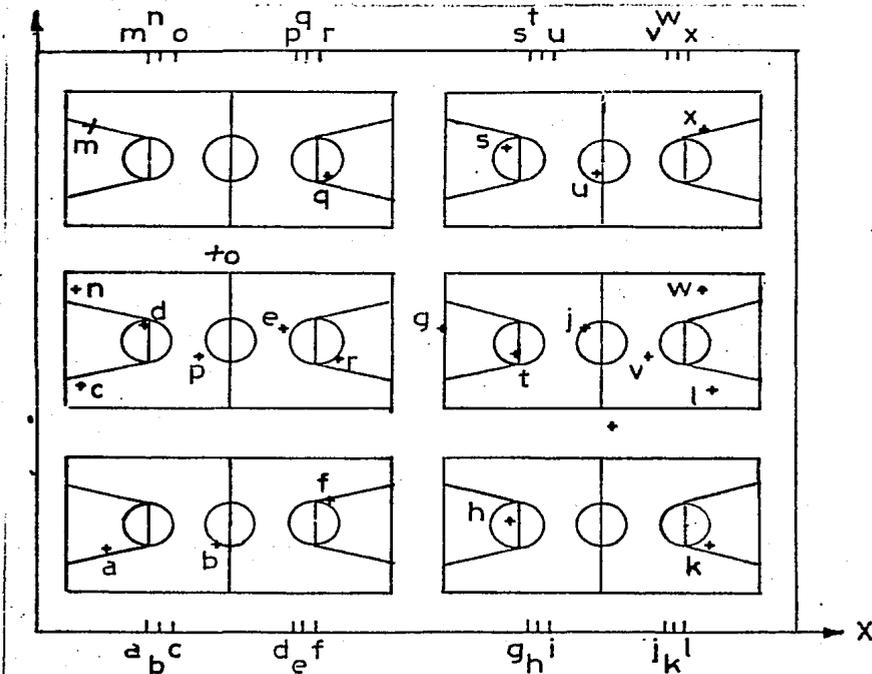
4.10.4) ORIENTACION SUGERIDA.

Después de realizar varias pruebas con la computadora, tomando en cuenta diferentes puntos de enfoque, se llegó a la conclusión, de que dirigiendo los reflectores como se muestra en la (Fig. 4-7), se encuentra una buena distribución de la iluminación, obteniendo mayor uniformidad en la área a iluminar.

Las coordenadas de los reflectores y puntos de enfoque son:

	REFLECTOR	ENFOQUE
a.-	(7.50, 0.00, 9.77)	(4.00, 9.00, 0.0)
b.-	(8.30, 0.00, 9.77)	(4.00, 27.0, 0.0)
c.-	(9.10, 0.00, 9.77)	(14.00, 9.0, 0.0)
d.-	(19.00, 0.0, 9.77)	(7.00, 31.0, 0.0)
e.-	(19.80, 0.0, 9.77)	(20.0, 31.0, 0.0)
f.-	(20.60, 0.0, 9.77)	(24.0, 12.0, 0.0)
g.-	(38.00, 0.0, 9.77)	(32.0, 31.0, 0.0)
h.-	(38.80, 0.0, 9.77)	(37.0, 10.0, 0.0)
i.-	(39.60, 0.0, 9.77)	(45.0, 22.0, 0.0)
j.-	(51.00, 0.0, 9.77)	(44.0, 31.0, 0.0)
k.-	(51.80, 0.0, 9.77)	(55.00, 9.0, 0.0)
l.-	(52.60, 0.0, 9.77)	(55.0, 26.0, 0.0)
m.-	(7.50, 60.0, 9.77)	(4.00, 51.0, 0.0)
n.-	(8.30, 60.0, 9.77)	(4.00, 35.0, 0.0)

o.-	(9.10, 60.0, 9.77)	(14.0, 39.0, 0.0)
p.-	(19.0, 60.0, 9.77)	(13.0, 29.0, 0.0)
q.-	(19.8, 60.0, 9.77)	(24.0, 48.0, 0.0)
r.-	(20.6, 60.0, 9.77)	(25.0, 29.0, 0.0)
s.-	(38.0, 60.0, 9.77)	(37.0, 50.0, 0.0)
t.-	(38.8, 60.0, 9.77)	(38.0, 29.0, 0.0)
u.-	(39.6, 60.0, 9.77)	(45.0, 38.0, 0.0)
v.-	(51.0, 60.0, 9.77)	(50.0, 29.0, 0.0)
w.-	(51.8, 60.0, 9.77)	(55.0, 35.0, 0.0)
x.-	(52.6, 69.0, 9.77)	(55.0, 51.0, 0.0)



(Fig. 4-7) Direccinamiento de reflectores sugerido.

La distribución luminosa con este direccionamiento, teniendo en cuenta la misma escala de valores anterior para cada color, nos representa una distribución luminosa mas uniforme sin fuertes concentraciones de iluminación como la anterior (ver. fig. 4-8).

Donde el menor valor de iluminación es de 90 luxes, localizado en el punto de coordenadas (12, 11)

El Factor de Uniformidad es:

$$F.U. = \frac{791.52}{90} = 8.79$$

Que es menor al Factor de Uniformidad anterior.

NOTA: El programa se encuentra en el Apéndice.

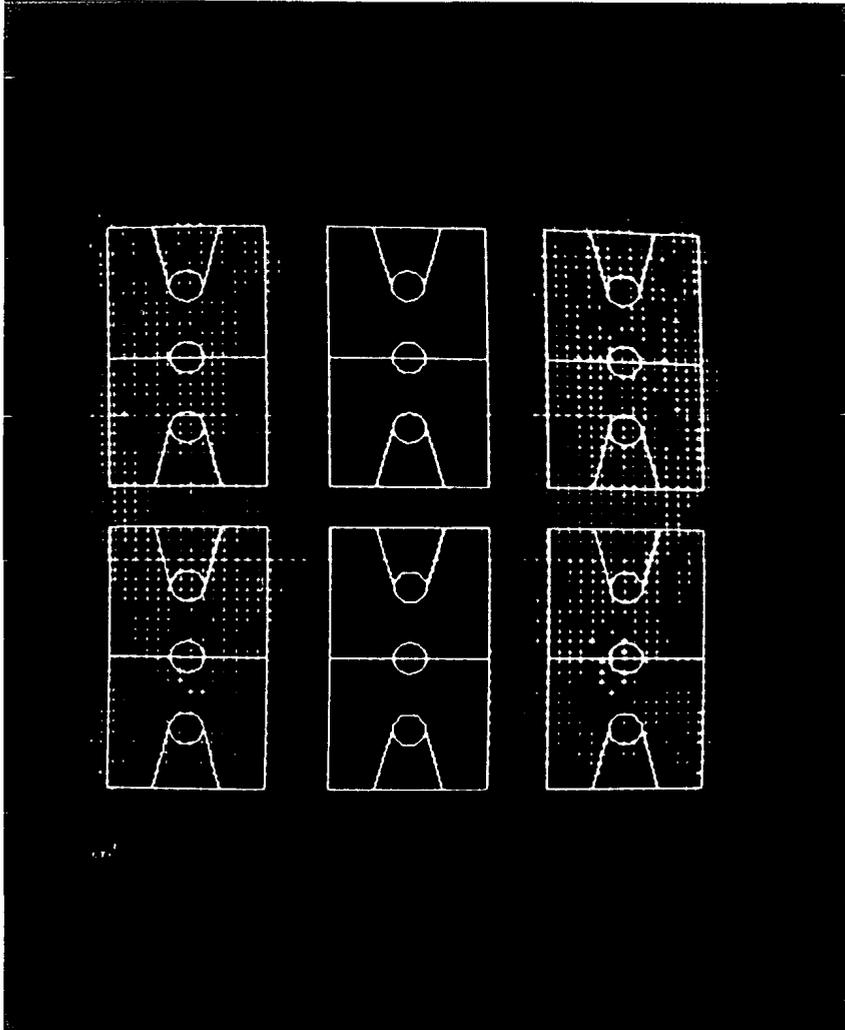
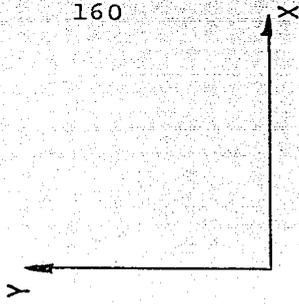


Fig.- 4-8 Representación Gráfica que se obtiene con el direccionamiento sugerido.

CONCLUSIONES

El cálculo de la iluminación se puede hacer por los métodos mencionados en el capítulo III, y aun más se pueden usar otros métodos, visto lo anterior, el método de punto por punto, ofrece la mayor exactitud, (dependiendo del número de puntos considerados para el cálculo).

Sin embargo el cálculo punto por punto manual, requiere concentración y tiempo del diseñador, al implementar y utilizar un programa, para el cálculo de iluminación se tienen las ventajas siguientes:

- a) Ahorro en tiempo.
- b) Exactitud.
- c) Versatilidad en el diseño
- d) Mediante gráficas, facilidad para el análisis de la orientación propuesta y, sugerir alguna nueva.

El programa ofrece las siguientes facilidades:

- 1) La distancia entre puntos se puede variar, desde unos cuantos centímetros hasta algunos metros, siendo el único inconveniente la capacidad en la unidad de graficación.
- 2) Se puede usar diferentes tipos de reflectores simultáneamente.

táneamente.

- 3) Se puede obtener la gráfica para cualquier altura del plano de trabajo.

El programa sin embargo tiene limitantes tales como:

- A) Que solamente pueden estudiarse planos horizontales, quedando fuera el análisis en planos inclinados.
- B) Que no se consideran obstáculos en el momento del análisis.
- C) El manejo de un solo tipo de curvas llamadas isocandelas.
- D) Que se consideran solamente áreas abiertas.

Algo más que puede hacerse es buscar la forma para utilizar otros colores en la graficación, además de adecuar el programa para que considerando un factor de uniformidad, se pueda de antemano buscar una orientación teniendo en cuenta un conjunto de reflectores iluminando el área y además de encontrar un medio de graficación mas rápido.

APENDICE.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

a) ANGULO DE INCLINACION.

Se llama ángulo de inclinación de una recta al que está formado por la parte positiva del eje X y la recta, tomando en cuenta la dirección de esta última.

Se llama pendiente de una recta, a la tangente de su ángulo de inclinación.

Si $P_1(X_1, Y_1)$ y $P_2(X_2, Y_2)$ son dos puntos diferentes de una recta la pendiente de ésta queda definida como:

$$m = (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1)$$

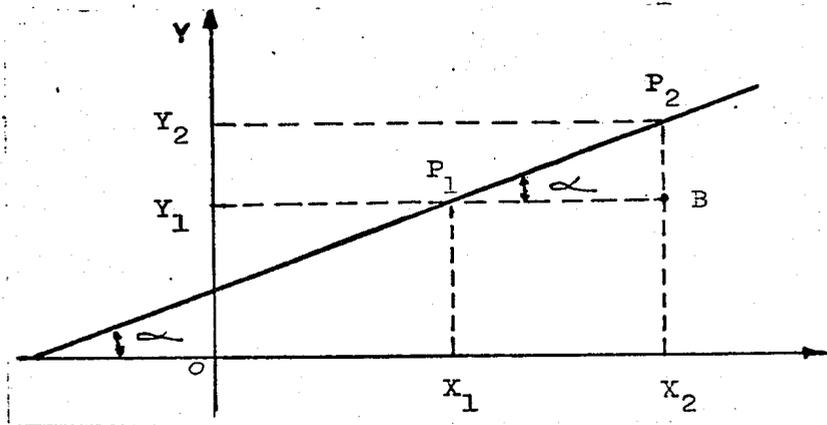


FIG. 1 Angulo de Inclinación.

b) TRASLACION DE EJES COORDENADOS.

Si se trasladan los ejes coordenados a un nuevo origen - O' (h, k), y si las coordenadas antes y después de la traslación de cualquier punto P son (X, Y) y (X', Y') respectivamente, las ecuaciones de transformación del sistema primitivo al nuevo sistema son:

$$X' = X - h$$

$$Y' = Y - k$$

Las ecuaciones para pasar del sistema trasladado al original son:

$$X = X' + h$$

$$Y = Y' + k$$

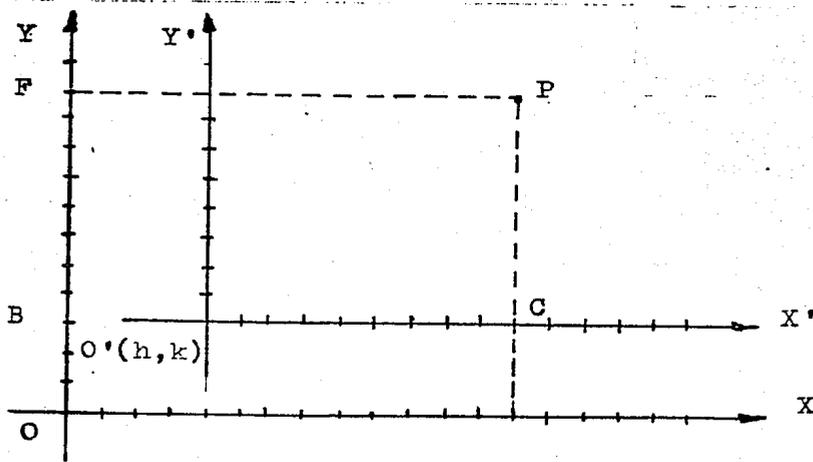


FIG. 2 Traslación de ejes a un Nuevo Origen.

C) ROTACION DE EJES COORDENADOS.

Si los ejes coordenados giran un ángulo T en torno a su origen como centro de rotación, y las coordenadas de un punto - cualquiera P antes y después de la rotación son: (X, Y) y $(X', -Y')$, respectivamente las ecuaciones de transformación del sistema original al nuevo sistema están dadas por:

$$X' = (2X + (Y - X \operatorname{Tg} (T)) \operatorname{SEN} (2T)) / 2 \operatorname{COS} (T)$$

$$Y' = (Y - X \operatorname{Tg} (T)) \operatorname{COS} (T)$$

Las ecuaciones para pasar del sistema rotado al original son:

$$X = X' \operatorname{COS} (T) - Y' \operatorname{SEN} (T)$$

$$Y = X' \operatorname{SEN} (T) - Y' \operatorname{COS} (T)$$

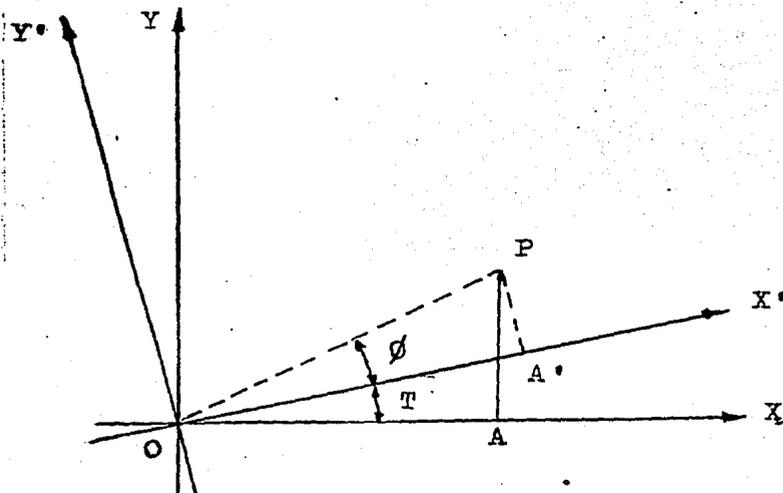


FIG. 3 Rotación de Ejes sobre el mismo origen.

Si se efectúa un cambio de coordenadas mediante una ---
 traslación y una rotación, en cualquier orden. Las coordenadas-
 de cualquier punto, antes y después de la transformación son: -
 (X , Y) y (X'' , Y'') respectivamente, las ecuaciones para pa-
 sar al sistema rotado y trasladado al origen son:

$$X = X'' \cdot \text{COS} (T) - Y'' \cdot \text{SEN} (T) + h$$

$$Y = X'' \cdot \text{SEN} (T) - Y'' \cdot \text{COS} (T) + k$$

Al resolver simultáneamente las ecuaciones anteriores, -
 se obtienen las ecuaciones para pasar del sistema original al --
 transformado son:

$$X'' = \frac{2(X - h) + (Y - k + (h - X) \text{Tg} (T)) \text{SEN} (2T)}{2 \text{COS} (T)}$$

$$Y'' = (Y - k + (h - X) \text{Tg} (T)) \text{COS} (T)$$

donde: (h,k) -coordenados del nuevo origen referidas al-
 sistema original.

T -ángulo de rotación.

D) COSENOS DIRECTORES.

La dirección de una recta cualquiera en el espacio, se--
 determina por los ángulos que forman en relación a los ejes ---
 coordenados. En la resolución de problemas es generalmente mas-
 conveniente usar, los cosenos de los ángulos directores en lu--

gar de los ángulos mismos, $\cos(\alpha)$, $\cos(\beta)$, $\cos(\gamma)$.

Cualquier recta en el espacio tiene dos sistemas de ---
cosenos directores iguales en valor, pero opuestos en signo.

Sea la recta en el espacio que pasa por los puntos, ---
 $P_1(X_1, Y_1, Z_1)$ y $P_2(X_2, Y_2, Z_2)$, considerando que tiene el sen-
tido indicado de P_1 a P_2 , si se forma un paralelepípedo recto rec-
tangular que tiene como diagonal P_1P_2 , cuyas aristas paralelas -
a los ejes X, Y, Z son respectivamente P_1V_1 , P_1V_2 , P_1V_3 .

Si cada arista tiene el mismo sentido que el eje a que -
es paralela, los ángulos directores son:

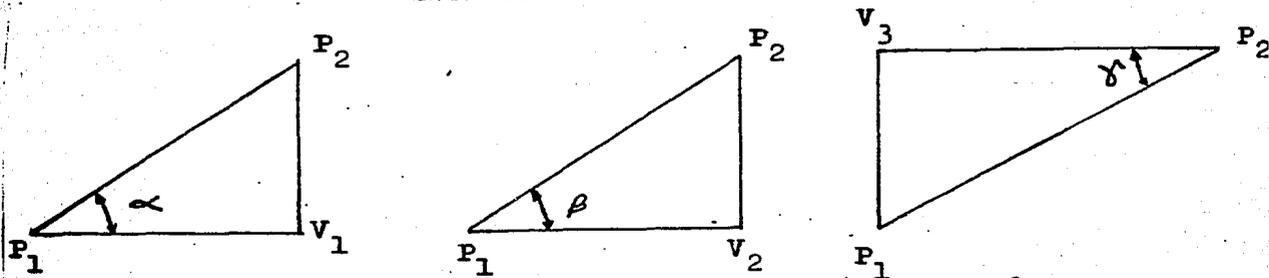
si

$$\alpha = \alpha_1 = \text{ángulo } P_2P_1V_1$$

$$\beta = \beta_1 = \text{ángulo } P_2P_1V_2$$

$$\gamma = \gamma_1 = \text{ángulo } P_2P_1V_3$$

Si se consideran los tres ángulos formados:



Para cada uno de estos triángulos sea $d = \frac{1}{|P_1P_2|}$

Por lo tanto si $\overline{P_1V_1} = x_2 - x_1$

$$\overline{P_1V_2} = y_2 - y_1$$

$$\overline{P_1V_3} = z_2 - z_1$$

TEOREMA 1.

Los cosenos directores de la recta determinada por los puntos P_1 y P_2 cuyas coordenadas son: $P_1(x_1, y_1, z_1)$ y $P_2(x_2, y_2, z_2)$ y dirigida del primer al segundo punto son:

$$\text{COS } (\text{AL}) = \frac{(x_2 - x_1)}{d}$$

$$\text{COS } (\text{BE}) = \frac{(y_2 - y_1)}{d}$$

$$\text{COS } (\text{GA}) = \frac{(z_2 - z_1)}{d}$$

Siendo la distancia entre los puntos P_1 y P_2 .

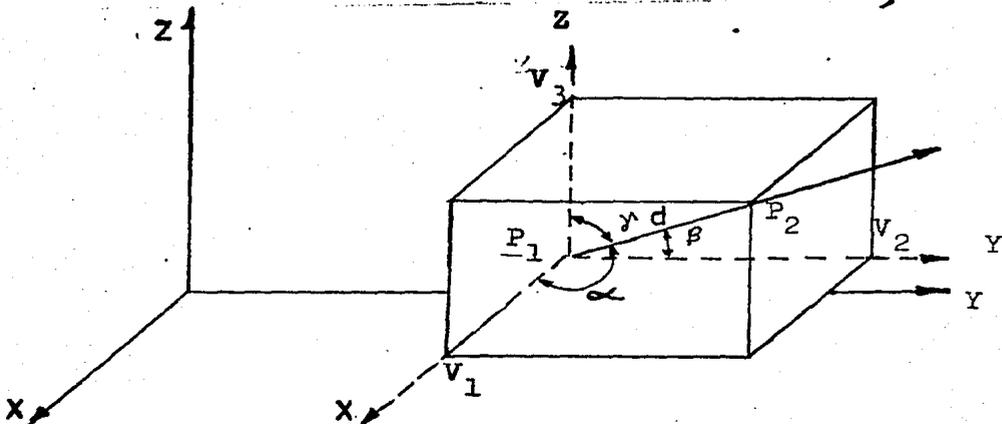


FIG. 4 Representación de la Dirección de una recta por cosenos Directores.

e) NUMEROS DIRECTORES

En lugar de los cosenos directores en una recta L, conviene emplear tres números reales llamados directores que son proporcionales a los cosenos directores.

Así a, b, c, son números directores siempre que:

$$\frac{a}{\cos(AL)} = \frac{b}{\cos(BE)} = \frac{c}{\cos(GA)}$$

Si $r \neq 0$ un grupo de números directores puede ser ra, rb, rc, - de esta forma, de un grupo infinito se escogen los de menor valor numérico.

Los números directores se representan encerrándolos en paréntesis rectangulares [a, b, c]

TEOREMA 2.

Los números directores de una recta que pasa por los puntos $P_1(x_1, y_1, z_1)$ y $P_2(x_2, y_2, z_2)$ están definidos por:

$$[x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1] = [a, b, c]$$

Los cosenos directores pueden determinarse a partir de sus números directores, si se hacen las siguientes igualdades:

$$a = k \cos(\alpha)$$

$$b = k \cos(\beta)$$

$$c = k \cos(\gamma)$$

Si se eleva al cuadrado cada miembro e igualan:

$$a^2 + b^2 + c^2 = k^2 (\cos^2(\alpha) + \cos^2(\beta) + \cos^2(\gamma))$$

$$\text{SI } \cos^2(\alpha) + \cos^2(\beta) + \cos^2(\gamma) = 1$$

se tiene $a^2 + b^2 + c^2 = k^2$

$$k = \pm (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2}$$

TEOREMA 3.

Si a, b, c son los números directores de una recta, sus cosenos directores son:

$$\cos(\alpha) = \pm \frac{a}{k}$$

$$\cos(\beta) = \pm \frac{b}{k}$$

$$\cos(\gamma) = \pm \frac{c}{k}$$

donde el signo negativo ó positivo queda determinado en base a la definición de la recta en un sentido ú otro.

F) ANGULO FORMADO POR DOS RECTAS DIRIGIDAS EN EL ESPACIO.

Sean dos rectas cualesquiera dirigidas en el espacio L_1 y L_2 . Si se trazan L'_1 y L'_2 en el origen y paralelas a las anteriores. Por definición el ángulo formado entre L_1 y L_2 es el ángulo T .

Sean $P_1 (X_1, Y_1, Z_1)$ y $P_2 (X_2, Y_2, Z_2)$ dos puntos distintos del origen sobre las rectas L'_1 y L'_2 :

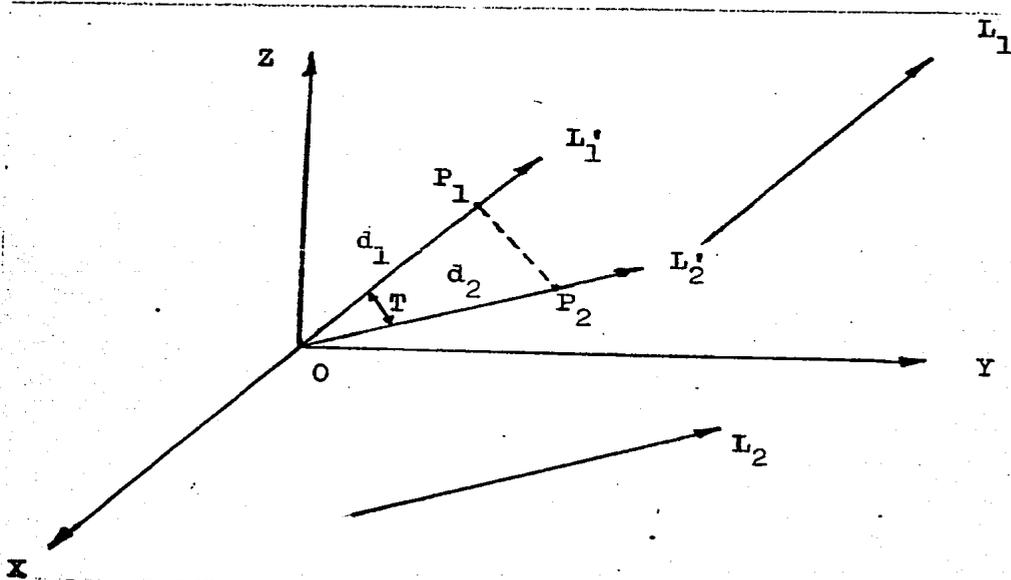


FIG. 5 Angulo entre dos rectas en el Espacio.

si

$$d_1 = \overline{OP_1}, \quad d_2 = \overline{OP_2}, \quad d_3 = \overline{P_1P_2}$$

Por Ley de los Cosenos:

$$d^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2 d_1 d_2 \cos(T)$$

Despejando T tenemos:

$$\cos(T) = \frac{d_1^2 + d_2^2 - d^2}{2 d_1 d_2} \quad \text{--- (A)}$$

Las distancias del origen al punto P_1 y P_2 y d son:

$$d_1^2 = x_1^2 + y_1^2 + z_1^2$$

$$d_2^2 = x_2^2 + y_2^2 + z_2^2$$

$$d^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$$

Si se sustituyen estas últimas expresiones en la forma (A) y simplificamos se obtiene, que el ángulo T queda definido como:

$$\cos(T) = \frac{x_2 x_1 + y_2 y_1 + z_2 z_1}{d_1 d_2} \quad \text{--- (B)}$$

Los cosenos directores en las rectas L_1' y L_2' como están referidas al origen son:

$$\cos(AL_1) = x_1/d_1$$

$$\cos(BE_1) = y_1/d_1$$

$$\cos(GA_1) = z_1 / d_1$$

$$\cos(AL_2) = x_2 / d_2$$

$$\cos(BE_2) = y_2 / d_2$$

$$\cos(GA_2) = z_2 / d_2$$

Si se substituyen en B se obtiene que:

$$\cos(T) = \frac{x_1 x_2}{d_1 d_2} + \frac{y_1 y_2}{d_1 d_2} + \frac{z_2 z_1}{d_1 d_2} =$$

$$= \cos(AL_1) \cos(AL_2) + \cos(BE_1) \cos(BE_2) + \cos(GA_1) \cos(GA_2)$$

TEOREMA 4.

El ángulo T formado por dos rectas dirigidas en el espacio, cuyos ángulos directores son AL_1 , BE_1 , GA_1 y AL_2 , BE_2 , GA_2 se determina por la relación:

$$\cos(T) = \cos(AL_1) \cos(AL_2) + \cos(BE_1) \cos(BE_2) + \cos(GA_1) \cos(GA_2)$$

Sean los números directores de las rectas a_1, b_1, c_1 y a_2, b_2, c_2 , por los teoremas anteriores los cosenos directores son:

$$\text{Si } AA = a_1^2 + b_1^2 + c_1^2$$

$$BB = a_2^2 + b_2^2 + c_2^2$$

$$\cos(\angle A_1) = + \frac{a_1}{AA} \qquad \cos(\angle A_2) = + \frac{a_2}{BB}$$

$$\cos(\angle B_1) = + \frac{b_1}{AA} \qquad \cos(\angle B_2) = + \frac{b_2}{BB}$$

$$\cos(\angle C_1) = + \frac{c_1}{AA} \qquad \cos(\angle C_2) = + \frac{c_2}{BB}$$

Si se sustituyen estos valores en el teorema 4 se obtiene:

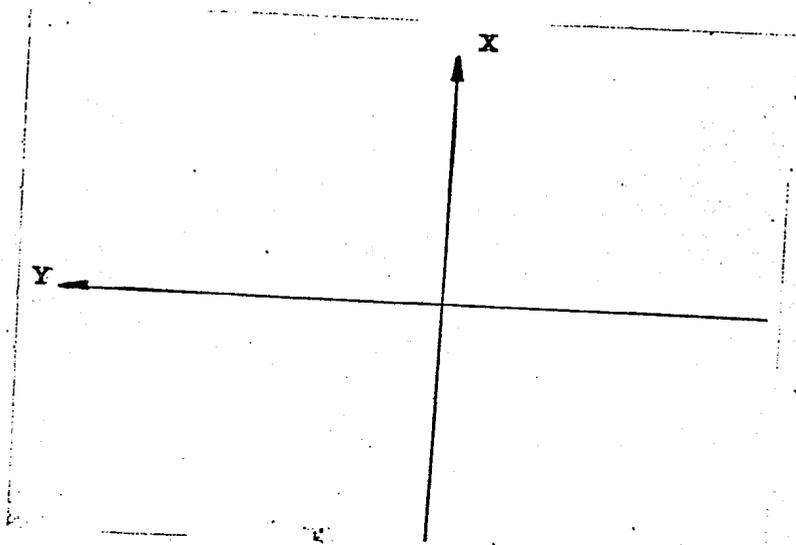
TEOREMA 5.

El ángulo T formado por dos rectas cualesquiera dirigidas en el espacio, cuyos números directores son: a_1, b_1, c_1 y a_2, b_2, c_2 es:

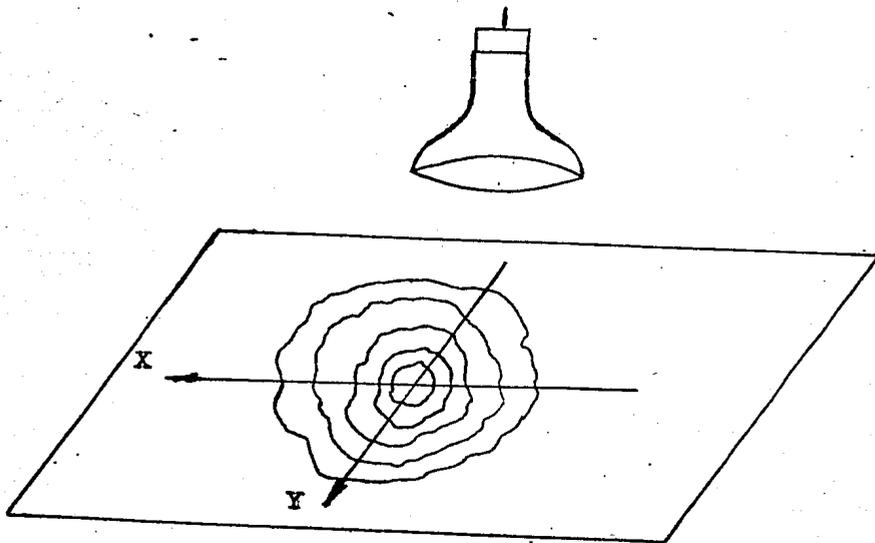
$$\cos(T) = + \frac{a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2}{(a_1^2 + b_1^2 + c_1^2)^{1/2} (a_2^2 + b_2^2 + c_2^2)^{1/2}}$$

G) FORMA DE LEER LOS DATOS DE LAS CURVAS ISOCANDELAS.

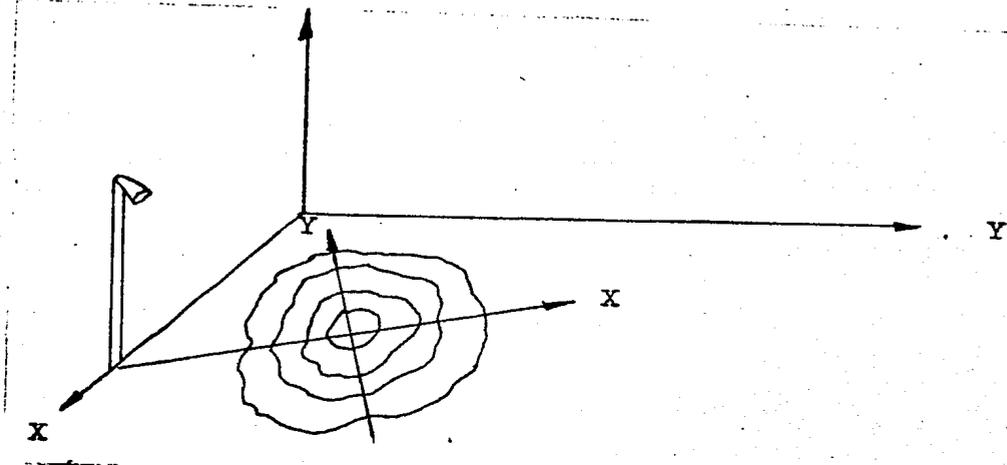
Si le hacemos corresponder a estas curvas un eje coordenado, como el que se muestra:



Al iluminar perpendicularmente un área el reflector, éste estampará sus curvas propias de diseño y con ellas su eje asociado.



Si al ser iluminada una área el reflector no es perpendicular a ésta y se le da un ángulo de inclinación, quedará representada como:



Después de obtener un ángulo vertical y horizontal, se hace corresponder un par ordenado de la matriz AISO.

- a) Para encontrar el número de columna, donde está localizado se sustituye en:

$$JH = \frac{THMG - THG}{RAGH} + 1.0$$

donde:

JH = Número de columna.

THMG = Angulo Horizontal Máximo expresado en grados.

TGH = Angulo Horizontal Obtenido.

RAGH = Rango en grados Horizontal.

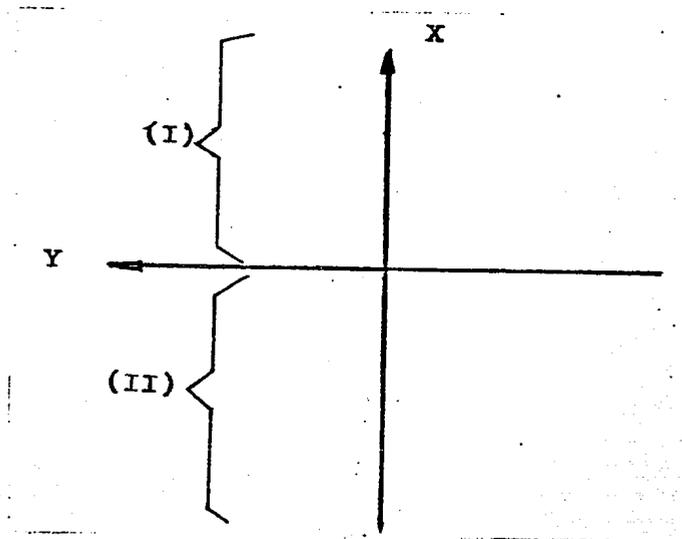
b) Para encontrar el renglón donde está localizado hay dos casos.

Cuando está en (I) se aplica

$$IV = \frac{TVMG - TVG}{RAGV} = 1.0$$

Cuando está en (II) se aplica

$$IV = \frac{TVMG + TVG}{RAGV}$$



donde:

- IV = número de renglón
- TVMG = Angulo Vertical Máximo en Grados.
- TVG = Angulo Vertical Obtenido en Grados.
- RAGV = Rango en Grados Vertical.


```

133
REAL TV,TVG,XP,CAN,E,FF,RXDR,RYDR,RZDR
REAL F1,F2,F3,RXTD,RYTD,RZTD,CT1
REAL DPX,DPZ,DPZ,DP,OPPMA
REAL SSLTXT,STLUX,TP,LUXP
INTEGER LT,M,N,IV,JH,KR,KC
INTEGER ESCAPE,OPCION
INTEGER LO,L1
CHARACTER ARCHIVOx20 ; NOMBRE DEL ARCHIVO
DATA ESCAPE /01400B/

```

```

C
C
C
C
C
C
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
PROGRAMA PRINCIPAL
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

WRITE(1,x)"DAME LOS VALORES DE M Y N = "
READ(1,x) M,N
IMP = 1

```

```

C
INICIALIZACION EN 0.0 DE LOS VALORES DE LA MATRIZ RESULTANTE
DO I =1,M
DO J = 1,N
SLTXT(1,J) = 0.0
END DO
14 CONTINUE

```

```

C
C
C
C
C
C
=====
LECTURA DE DATOS (OPCION PARA LEER DESDE UN ARCHIVO) .
=====

```

```

1 WRITE(1,20) ESCAPE ESCAPE
20 FORMAT(1H,A1,"h",A1,"J", //,/,
x15X,"PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA ILUMINACION",/,
x15X," PUNTO A PUNTO",//,/)
WRITE(1,21)
21 FORMAT(25X,"OPCIONES i ",//,/,
x 25X,"1,-INTERACTIVA ",//,/,
x 25X,"2,-DATOS POR MEDIO DE UN ARCHIVO",//,/,
x 25X," xxxxxxxxxxxxxxxx SU OPCION ES :_" )
READ(1,x) OPCION
WRITE(1,x)
IF (OPCION.EQ.1 .OR. OPCION .EQ. 2 ) THEN
IF (OPCION .EQ. 1 ) THEN
LO = 1
LI = 1
ELSE
1111 WRITE(1,x)"NOMBRE DEL ARCHIVO DONDE SE ENCUEN-
TRA "
WRITE(1,x)"LOS DATOS DE LA MATRIZ = _"
READ(1,'(A20)') ARCHIVO
OPEN (UNIT = 8, ; SE CONECTA LA UNIDAD 8
x FILE = ARCHIVO, ; ESPECIFICA EL NOMBRE DEL ARCHIVO
x STATUS = 'OLD', ; DECLARA UN ARCHIVO EXISTENTE PARA
LE
x ERR = 1111 ) ; EN CASO DE ERROR SE VA 1111
LO = 0
LI = 8
END IF
ELSE
GO TO 1

```


GO TO 2
36 T=FF

=====

LLAMA SUBROUTINA PARA OBTENER NUEVAS COORDENADAS DEL REFLECTOR

=====

2 CALL TRANSFORMAR (XE (K) , (YE (K) , (XR (K) , YR (X) XE , YB)
SE ENCUENTRAN NUMEROS DIRECTORES EN EL NUEVO SISTEMA DE EJES.

RXD=ZB

RYD=YB

RZD=ZR (K) =ZR (K)

OBTENCION DE LA ALTURA DE MONTAJE

H=ZR (K) -ZE (K)

CONVERSION DE LOS ANGULOS DE RADIANES A GRADOS.

THMG=(360.0xTHM)/6.2832

RVMG=(360.0xTVM)/6.2832

X=0.0

Y=0.0

DO I=1,M

DO J=1,N

=====

LLAMA SUBROUTINA PARA CALCULO DEL ANGULO HORIZONTAL CORRESPONDIENTE

=====

CALL PRUEBAY (XE (K) , (YE (K) , X , Y , T , RXD , RZD , TH , THG , YP)

IF (THMG-THG) 39 , 38 , 38

=====

LLAMA SUBROUTINA PARA CALCULO DEL ANGULO VERTICAL CORRESPONDIENTE.

=====

38 CALL PRUEBAX (XE (K) , (YE (K)) , X , Y , T , RXD , RZD , TV , TVG , XB , XP)

IF (TVMG-TVG) 39 , 41 , 41

41 JH=((THMG-THG)/RAGH) + 1.0

IF (XP) 42 , 43 , 43

42 IV=((TVMG + TVG)/RAGV)

GO TO 5

43 IV=((TVMG - TVG)/RAGV) + 1.0

OBTENER EL VALOR CORRESPONDIENTE EN LA MATRIZ DE DATOS.

5 CAN=AIISO (IV , JH)

=====

LLAMA SUBROUTINA PARA CALCULO DE LA DISTANCIA DEL REFLECTOR AL PUNTO
Y EL ANGULO DE REFERENCIA THETA 1.

=====

CALL BASE (XB , YB , (ZE (K)) , (ZR (K)) , XP , YP , DP , CT1)

LA FORMULA PARA ENCONTRAR EL VALOR CORRESPONDIENTE EN LUXES EN
EL EL PUNTO ES.

E=(CANxCT1)/(DPxx2.0)

HACEMOS CORRESPONDER EL VALOR OBTENIDO A UN PAR ORDENADO DE NUMEROS

SLUX (I , J) =E

```
39 SLUX(I,J) = 0.0
```

```
8 Y = Y + A
```

```
END DO
```

```
Y = 0.00
```

```
X = X + A
```

```
END DO
```

C
C
C
C
C
C
C

```
=====
C OPCION PARA ESCRIBIR LA CONTRIBUCION DE CADA LUMINARIO EN EL AREA.
=====
```

```
IF(1 - OECL) 62,62,63
```

```
62 WRITE(IMP,x) 'EL LUMINARIO xxxxxxxxxxxx',K
```

```
WRITE(IMP,x) 'CONTRIBUYE ASI EN EL AREA TOTAL'
```

```
WRITE(IMP,x) 'LAS COORDENADAS DEL REFLECTOR Y SU ENFOQUE SON '
```

```
WRITE(IMP,103) XE(K),YE(K),ZE(K),XR(K),YR(K),ZR(K)
```

```
103 FORMAT(//,3x,'XE= ',F12.5,5x,'YE= ',F12.5,5x,'ZE= ',F12.5,///,
```

```
13x,'XR= ',F12.5,5x,'YR= ',F12.5,5x,'ZR+',F12.5)
```

```
DO I =1,M
```

```
WRITE(IMP,104) (I,J,SLUX(I,J),J=1,N)
```

```
END DO
```

```
104 FORMAT( 2(9x,'p(',13,',','13,')=' ,F12.5,2x,'LUXES'))
```

```
63 CONTINUE
```

C
C
C
C
C
C
C

```
=====
C REALIZACION DE LA SUMA DE LAS CONTRIBUCIONES DE CADA LUM NARIO 1x1
=====
```

```
DO I = 1,M
```

```
DO J = 1,N
```

```
SLUXT(I,J) = SLUX(I,J) + SLUXT(I,J)
```

```
END DO
```

```
END DO
```

```
END DO
```

```
WRITE(1,x)'EXISTEN DATOS PARA PROBAR CON DIFERENTES REFLECTORES
```

```
WRITE(1,x)'SI LA RESPUESTA ES AFIRMATIVA PONER 1 '
```

```
WRITE(1,x)'SI LA RESPUESTA ES NO PONER CUALQUIER NUMERO = '
```

```
READ(1,x) OPPMA
```

```
IF(1 - OPPMA) 11,14,11
```

```
11 CONTINUE
```

C
C
C
C
C
C
C

```
=====
C DETERMINACION DEL PUNTO DE MAJOR ILUMINACION.
=====
```

```
AM = SLUXT(1,1)
```

```
AMX = 0.0
```

```
AMY = 0.0
```

```
DO I =1,M
```

```
DO J = 1,N
```

```
IF(AM.GT.SLUXT(I,J)) GO TO 9
```

```
AM = SLUXT(I,J)
```

```
AMX = I
```

```
AMY = J
```

```
9 END DO
```

```
END DO
```

=====
 CALCULO DEL PUNTO DE MENOR ILUMINACION.
 =====

```

AMI = SLUXT(1,1)
AMIX = 0.0
AMIY = 0.0
DO I = 1,M
  DO J = 1,n
    IF(AMI.LT. SLUXT(I,J))GO TO 10
    AMI = SLUXT(I,J)
    AMIX = I
    AMIY = J
10  END DO
END DO

```

 =====
 DETERMINACION DEL FACTOR DE UNIFORMIDAD.
 =====

```
FUNI = AMI / AM
```

 =====
 DETERMINACION DEL PROMEDIO DE ILUMINACION EN EL AREA (LUXES)
 =====

TP =Es el total de puntos considerados en el área
 LUXP=Es el promedio de iluminación en el área total.

```

SSLUXT = 0.0
DO I = 1,M
  DO J = 1,N
    SSLUXT = SSLUXT + SLUXT(I,J)
  STLUX = SSLUXT
  END DO
END DO
TP = M x N
LUXP = STLUX / TP

```

 =====
 ESCRITURA DE LOS VALORES OBTENIDOS.
 =====

```

WRJTE(IMP,x)'EL INCREMENTO DE LOS VALORES EN EL AREA ES '
WRITE(IMP,105)A
105 FORMAT(//,20x,F12.3)
WRITE(IMP,x)'EL VALOR DE ILUMINACION MAXIMO ES = ',AM
WRITE(IMP,x)'ESTA LOCALIZADO EN LOS PUNTOS AMX = ',AMX
WRITE(IMP,x)'XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX -Y AMY = ',AMY
WRITE(IMP,x)'EL VALOR DE ILUMINACION MINIMA ES = ',AMI
WRITE(IMP,x)'ESTA LOCALIZADO EN LOS PUNTOS AMIX=',AMIX
WRITE(IMP,x)'XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX -Y AMIY = ',AMIY
WRITE(IMP,x)'EL FACTOR DE UNIFORMIDAD ES '
WRITE(IMP,x)'XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX ',FUNI
WRITE(IMP,x)'EL NIVEL PROMEDIO DE ILUMINACION ES '

```

```
WRITE (IMP,x) 'XXXXXXXXXXXXX ',LUXP  
WRITE (IMP,x) 'VALORES DE ILUMINACION EN LA MATRIZ RESULTANTE '
```

```
OPEN (8,FILE ='SLUXT.DAT',STATUS = 'NEW')
```

```
DO J = 0,3
```

```
DO I =1,60
```

```
107 WRITE (8,107) (SLUXT(I,JJ),JJ=((Jx15)+1),((J+1)x15))  
107 FORMAT(2H,15(F7.0,1x),//)
```

```
END DO
```

```
WRITE (8, '(1H1)')
```

```
END DO
```

```
C OPCION PARA IMPRIMIR VALORES DE SLUXT POR SEPARADO.
```

```
C DO I =1,M
```

```
C WRITE (IMP,106) (I,J,SLUXT(I,J),J=1,N)
```

```
C END DO
```

```
C 106 FORMAT(2(9x,'P(',13,',',13,')='',F12.5,2x,'LUXES'))
```

```
STOP
```

```
END
```

```

SUBROUTINE TRANSFORMAR(XE, YE, XR, YR, XB, YB )
C SUBROUTINA QUE CALCULA LAS COORDENADAS DEL REFLECTOR
C REFERIDAS AL NUEVO SISTEMA PARA QUE EN FUNCION DE ESTO
C PUEDA OBTENERSE CON LA UNION DEL NUEVO ORIGEN UNA RECTA
C DE REFERENCIA.
C LA COORDENADA DEL PUNTO EN X ES:
AA=(XE-XR) xx2.0
BB=(YE-YR) xx2.0
XB=-SQRT(AA+BB)

C
C LA COORDENADA EN EL EJE Y ES :
YB=0.0
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE PRUEBA-Y(XE, YE, X, Y, T, RXD, RZD, TH, THG, YP)
C ESTA SUBROUTINA CALCULA LA COORDENADA EN EL EJE Y TRANSFORMADO
C DEL PUNTO CONSIDERADO.
C OBTIENE EL NUMERO DIRECTOR CORRESPONDIENTE.
C OBTIENE EL COSENO, EL INVERSO DEL COSENO Y CONVIERTE A GRADOS EL
C ANGULO HORIZONTAL OBTENIDO.
C RXD, RYD, RZD, NUMEROS DIRECTORES DE LA RECTA DE REFERENCIA.
C

```

```

A1=1.0 + COS(2.0 x T)
A2=Y-YE+ (XE-X) xTAN(T)
A3= 2.0xCOS(T)
YP=(A1xA2)/A3
C ENCONTRANDO EL COSENO DEL ANGULO CONSIDERADO.
B1=RXDxx2.0+RZDxx2.0
B2=SQRT(RXDxx2.0 + RZDxx2.0)
PYD=ABS(YP)
IF(PYD) 44, 45, 44
44 B3=SQRT(RXDxx2.0+PYDxx2.0+RZDxx2.0)
GO TO 3
45 B3=SWRT(RXDxx2.0+RZDxx2.0)
3 UV=B1/(B2xB3)
IF(1.0 - UV) 303, 304, 304
303 TH=0.0
GO TO 90
304 TH=ACOS(UV)
C HACIENDO LA CONVERSION A GRADOS DEL ANGULO TH.
90 THG=(360.0xTH)/6.2832
RETURN
END

```

SUBROUTINE PRUEBA X(XE,YE,X,Y,T,RXD,RZD,TV,TVG,XB,XP)
 C ESTA SUBROUTINA CALCULA LA COORDENADA EN X DEL PUNTO CONSIDERADO
 C EN LOS EJES TRANSFORMADOS.
 C CALCULA EL NUMERO DIRECTOR CORRESPONDIENTE, EL INVERSO DEL COSENO Y
 C HACE LA CONVERSION A GRADOS DEL ANGULO VERTICAL CONSIDERADO.

C
 $C1=2.0 \times (X-XE) \times \cos(T)$
 $C2=(Y-YE+(XE-X) \times \tan(T)) \times \sin(T)$
 $C3=2.0 \times \cos(T) \times X2.0$
 $XP=(C1/C3) \times C2$
 $PXD=XP-XB$

C OBTENIENDO EL COSENO DEL ANGULO VERTICAL

$D1=RXD \times PXD + RZD \times X2.0$
 $D2=\sqrt{RXD \times X2.0 + RZD \times X2.0}$
 $PXD1=ABS(PXD)$
 IF (PXD1) 46, 47, 46

46 $D3=\sqrt{PXD1 \times X2.0 + RZD \times X2.0}$

GO TO 4

47 $D2=RZD$

4 $U=D1/(D2 \times D3)$

IF (1.0 - U) 302, 301, 301

301 $TV=ACOS(U)$

GO TO 30

302 $TV=0.0$

C LA CONVERSION A GRADOS ES:

30 $TVG=(360.0 \times TV)/6.2832$

RETURN

END

SUBROUTINE BASE (XB, YB, ZE, ZR, XP, YP, DP, CT1)

C ESTA SUBROUTINA ME CALCULA LA DISTANCIA DEL REFLECTOR AL PUNTO
 C CONSIDERANDO, TOMANDO EN CUENTA LAS COORDENADAS TRANSFORMADAS.

$DPX=(XP - XB) \times X2.0$

$DPY=(YP - YB) \times X2.0$

$DPX=(XR - XE) \times X2.0$

C SE DETERMINA EL ANGULO $\theta = T1$, QUE SE ENCUENTRA ENTRE LA LINEA

C QUE UNE EL REFLECTOR CON EL PUNTO EN ESTUDIO Y LA LINEA VERTICAL

C AL PLANO DONDE SE CALCULA LA ILUMINACION.

C

C CALCULANDO LOS NUMEROS DIRECTORES DE LA LINEA VERTICAL AL PLANO

C

$RXDR=0.0$

$RYDR=0.0$

$RZDR=XE - ZR$

C CALCULANDO LOS NUMEROS DIRECTORES DE LA LINEA QUE UNE EL REFLECTOR

C Y EL PUNTO CONSIDERADO.

$RXTD=XP - XB$

$RYTD=YP - YB$

$RZTD=ZE - ZR$

C DETERMINANDO EL COSENO ENTRE LINEAS.

$F1=RZDR \times RZTD$

$F2=\sqrt{RXDR \times X2.0 + RYDR \times X2.0 + RZDR \times X2.0}$


```

x CALL J2MRK (R,C,3)
  END DO
  END DO
  END DO
C ASIGNACION DEL COLOR BLANCO PARA DIBUJAR LAS CANCHAS.
  CALL JCOLR (1)
  CALL CAN BASK
C CAN_BASK ES LA SUBROUTINA PARA DIBUJAR LAS CANCHAS.
  CALL JWOFE (1)
  CALL JWEND (1)
  CALL JEND
  END

```

SUBROUTINE CAN BASK

C LA SUBROUTINA NOS DIBUJA SOBRE LA VENTANA YA DEFINIDA LAS CANCHAS
 C DE BASQUET BALL, CONSIDERANDO LAS COORDENADAS DE ESTAS.

C
 C DECLARACION DE VARIABLES.
 REAL LX(7) ,LY(7)
 REAL CX(6) , CY(6)
 DATA LX / 0.0,26.0,0.0,-26.0,0.0 , 13.0,0.0 /
 DATA LY 0.0,0 .0,14.0,0.0,-14.0,0.0,14.0/
 DATA CX / 1.4,1.4,1.4, 31.6,31.6,31.6/
 DATA CY/ 3.6,23.0,42.5, 3.6,23.0,42.5 /

C FORMACION DE UNA VENTANA DE 60 x 60
 CALL JWIND (0.0, 60.0, 0.0, 60.0)

C SE DIBUJA LAS CANCHAS DE BASQUET BOLL, CONSIDERANDO LA POSICION
 C EN EL AREA.

```

DO I=1,6
  CALL J2MOV ( CX(1),CY(I)
  CALL JR2PL (7,LX,LY) ; DIBUJA CONTORNO
  CALL JR2ME (-13.0, -4.0) ; DIBUJA AREA CHICA IZQ.
  CALL JR2DR (6.0,-1.5)
  CALL JR2MV (0.0 , -3.0)
  CALL JR2DR (-6.0 , -1.5)
  CALL JR2MV (26.0 , 0.0) ; DIBUJA AREA CHICA DER.
  CALL JR2DR (-6.0,1.5)
  CALL JR2MV (0.0 , 3.0)
  CALL JR2DR (6.0 , 1.5)
  CALL JR2MV (-6.0 , -3.0)
  CALL POLIGONO (20,1.5,0)
  CALL JR2MV (-7.0,0.0)
  CALL POLIGONO (20 , 1.5, 0)
  CALL JR2MV (-7.0 , 0.0)
  CALL POLIGONO (20, 1.5, .0)
  END DO
END

```

```

x CALL J2MRK (R,C,3)
  END DO
  END DO
  END DO
C ASIGNACION DEL COLOR BLANCO PARA DIBUJAR LAS CANCHAS.
  CALL JCOLR (1)
  CALL CAN BASK
C CAN_BASK ES LA SUBROUTINA PARA DIBUJAR LAS CANCHAS.
  CALL JWOFE (1)
  CALL JWEND (1)
  CALL JEND
  END

```

SUBROUTINE CAN BASK

```

C LA SUBROUTINA NOS DIBUJA SOBRE LA VENTANA YA DEFINIDA LAS CANCHAS
C DE BASQUET BALL, CONSIDERANDO LAS COORDENADAS DE ESTAS.

```

```

C
C DECLARACION DE VARIABLES.

```

```

  REAL LX(7) ,LY(7)
  REAL CX(6) , CY(6)
  DATA LX / 0.0,26.0,0.0,-26.0,0.0 , 13.0,0.0 /
  DATA LY 0.0,0 .0,14.0,0.0,-14.0,0.0,14.0/
  DATA CX / 1.4,1.4,1.4, 31.6,31.6,31.6/
  DATA CY/ 3.6,23.0,42.5, 3.6,23.0,42.5 /

```

```

C FORMACION DE UNA VENTANA DE 60 x 60

```

```

  CALL JWIND (0.0, 60.0, 0.0, 60.0)

```

```

C SE DIBUJA LAS CANCHAS DE BASQUET BOLL, CONSIDERANDO LA POSICION
C EN EL AREA.

```

```

  DO I=1,6
  CALL J2MOV ( CX(1),CY(I)
  CALL JR2PL (7,LX,LY)
  CALL JR2ME (-13.0, -4.0)
  CALL JR2DR (6.0,-1.5)
  CALL JR2MV (0.0, -3.0)
  CALL JR2DR (-6.0, -1.5)
  CALL JR2MV (26.0, 0.0)
  CALL JR2DR (-6.0,1.5)
  CALL JR2MV (0.0, 3.0)
  CALL JR2DR (6.0, 1.5)
  CALL JR2MV (-6.0,-3.0)
  CALL POLIGONO (20,1.5,0)
  CALL JR2MV (-7.0,0.0)
  CALL POLIGONO (20, 1.5, 0)
  CALL JR2MV (-7.0, 0.0)
  CALL POLIGONO (20, 1.5,-0)
  END DO
  END

```

```

; DIBUJA CONTORNO
; DIBUJA AREA CHICA IZQ.

```

```

;DIBUJA AREA CHICA DER.

```

SUBROUTINE POLIGONO (LADOS, RADIO, DESPLAZAMIENTO)
 C LA SUBROUTINA DIBUJA LOS CIRCULOS DE LAS CANCHAS DE BASQUET BOLL
 C CONSIDERANDO EL RADIO DEL POLIGONO, NUMERO DE LADOS Y DESPLA-
 C ZAMIENTO.

```

REAL CX, CY, CZ, X, Y
REAL RADIO
REAL DESPLAZAMIENTO
REAL FACTOR
INTEGER LADOS
CALL JIPC (CX, CY, CZ)
FACTO= (2.0 x 3.1415927 ) / 360.0
X = RADIO x SIN (FACTO x DESPLAZAMIENTO ) + CX
Y = RADIO x COS (FACTO x DESPLAZAMIENTO ) + CY
CALL J2MOV (X , Y)
DO I = 1, LADOS
X = RADIO x SIN (FACTO x (DESPLAZAMIENTO + I x 360.0 / LADOS)) + CX
Y = RADIO x COS (FACTO x (DESPLAZAMIENTO + I x 360.0 / LADOS)) + CY
CALL J2DRW ( X , Y )
END DO
CALL J2MOV (CX , CY )
RETURN
END

```

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Taboada, J.A. MANUAL DE LUMINOTECNIA OSRAM 4^a ed. Ed. - Dossat, S.A., MADRID 1983 pp. 339.
- 2.- Westinghouse Electric Corporation MANUAL DE ALUMBRADO 3^a ed. Ed. Dossat S.A. México, 1985 pp. 255.
- 3.- Lima Velasco, Juan Ignacio TECNOLOGIA APLICADA EN LA CAPA CITACION Y APLICACION DE LOS ELEMENTOS DEL ALUMBRADO. Ed. Instituto Politecnico Nacional, CECYT No. 3 México, pp. 236
- 4.- Tippens, Paul E. FISICA CONCEPTOS Y APLICACIONES Ed. Mc. Graw Hill de México, México, 1981 pp. 612.
- 5.- Illuminating Engineering Society (I.E.S.) CURSO BASICO DE ILUMINACION, Ed. Sociedad Mexicana de Ingeniería en Iluminación, México 1976.
- 6.- Widelite. ILUMINACION INDUSTRIAL, VIAL Y DECORATIVA. Catálogo de Reflectores, MEXICO.
- 7.- Crouse Hinds Domex, CATALOGO DE REFLECTORES, MEXICO.
- 8.- GTE Sylvania BOLETIN DE INFORMACION TECNICA O - 344, Danvers Mass., USA.

- 9.- Lehman, Charles H. GEOMETRIA ANALITICA. Ed. UTEHA, MEXICO
1978 pp. 493
- 10.- Luthe, Olivera, Shutz, METODOS NUMERICOS. Ed. Limusa, --
México, 1980 pp. 443.