

<http://www.umh.es>



# LA ILUMINACIÓN

EN LOS

# INVERNADEROS

Pablo Melgarejo Moreno  
Antonio Navarro Quercop  
Pilar Legua Murcia  
Vicente Lidón Noguera

# **LA ILUMINACIÓN EN LOS INVERNADEROS**

Asignatura optativa: **Tecnología de Cultivos Protegidos. Invernaderos.**

Curso y Titulación: **5º de Ingeniero Agrónomo.**

Autores: **Pablo Melgarejo Moreno**  
**Antonio Navarro Quercop**  
**Pilar Legua Murcia**  
**Vicente Lidón Noguera**



**EDITOR: UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**

**AUTORES:**

**Pablo Melgarejo Moreno**

**Antonio Navarro Quercop**

**Pilar Legua Murcia**

**Vicente Lidón Noguera**

**Profesores de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández)**

**ISBN: 84-95893-53-3**

**Depósito Legal: A-1017-2002**

**Imprime: Limencop S.L.**

**Queda prohibida la reproducción parcial o total de este libro.**



3.1.3.2. Descarga de gases .....	31
3.1.4. Necesidad de automatización de las técnicas utilizadas.....	35
3.1.5. Efectos fisiológicos. La fotosíntesis .....	35
3.1.6. Consecuencias agronómicas.....	36
4. PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN DE UN INVERNADERO PARA PRODUCCIÓN DE CRISANTEMOS.....	37
4.1. Bases fitotécnicas de la producción de crisantemos.....	37
4.2. Planteamiento del problema y necesidades de iluminación .....	41
4.3. Bases de cálculo.....	42
4.4. Planos de cotas y superficies del invernadero .....	47
4.5. Plano de planta de luminarias y de líneas y cuadro de alumbrado .....	48
4.6. Esquema unifilar.....	49
4.7. Resultados de cálculo .....	50
4.7.1. Cálculo de la iluminación .....	50
4.7.1.1. Introducción.....	50
4.7.1.2. Intensidad lumínica.....	50
4.7.1.3. Alumbrado de emergencia y señalización .....	51
4.7.1.4. Procedimiento de cálculo.....	51
4.7.2. Cálculos eléctricos.....	59
4.8. Memoria tipo del proyecto eléctrico.....	59
4.9. Pliego de condiciones tipo del proyecto eléctrico .....	59
4.10. Mediciones y presupuesto de la instalación eléctrica.....	59
5. BIBLIOGRAFÍA.....	61
<b>ANEXO:</b> Cálculos eléctricos detallados .....	61/72

# LA ILUMINACIÓN EN LOS INVERNADEROS

## 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de producción de plantas en invernadero ha alcanzado cotas impensables hace tan solo unos 30 años. Tanto los materiales como las técnicas y procedimientos han avanzado de modo tan considerable que el incremento de producción y calidad hace posible la utilización rentable de materiales de alta calidad, mano de obra cualificada y especializada. Su uso, que inicialmente estaba concebido para la producción de plantas herbáceas y leñosas ornamentales como el rosal, se ha extendido a la producción viverística de frutales y cítricos y, en la actualidad, el cultivo de frutales leñosos en invernadero, para la producción de frutos, constituye un nuevo concepto de fruticultura que sin duda cambiará la mentalidad sobre el cultivo frutal actual, asemejándose su uso, cada vez más, al cultivo y producción de plantas herbáceas.

Entre los insumos de producción se incluyen algunos factores utilizados tradicionalmente como son el agua, los fertilizantes y la mano de obra. Sin embargo, el avance en el conocimiento de las técnicas de producción y de la fisiología de la planta ha permitido utilizar nuevos factores que incrementan la calidad, la producción y que además permiten no sólo alcanzar el objetivo inicial del invernadero, que básicamente era la producción fuera de época, sino que lo supera ampliamente al aumentar considerablemente la calidad y la producción, al poder programar la obtención de un producto para un día concreto, etc., y todo ello incluyendo nuevos factores de producción como son: **la fertirrigación** con control del pH y conductividad de la solución nutritiva (que combina dos factores tradicionales mejorando su eficiencia), **las técnicas de hidroponía y cultivo sin suelo, el control de la iluminación** adecuándola a las necesidades del cultivo en cada momento, **la fertilización carbónica, el empleo de productos fitosanitarios a través de la misma red de riego**, el uso de sistemas que permiten **adecuar la humedad ambiente a las necesidades del cultivo**, sistemas de **calefacción del aire y del suelo**, etc., y además todo ello con el máximo nivel de regulación, de acuerdo con las necesidades del cultivo, de manera sencilla y con el mínimo coste, gracias a la **revolución informática** de los últimos 20 años, que no sólo

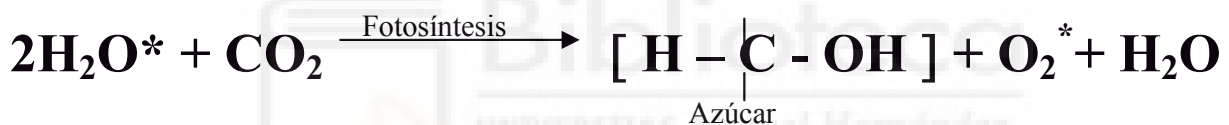
permite automatizar los procesos, sino que permite variarlos de modo automático e inteligente, en función de los factores climáticos que a su vez son recogidos por una estación meteorológica automática, situada en el mismo lugar que el invernadero, y finalmente, como colofón de lo anterior, el proceso puede ser controlado, modificado, o incluso reparado a distancia, sin necesidad de visitar el invernadero, gracias al uso integrado de autómatas programables, el teléfono fijo o móvil y el ordenador. Asimismo se cuenta con las grandes ventajas que aporta también la **mejora vegetal** para solucionar importantes problemas de diversa índole. Todo ello hace posible una gran eficiencia del conjunto de recursos empleados al mínimo coste, de modo que la tecnología de producción en invernadero es cada vez más importante y rentable frente a otros sistemas de producción, lo que hace que esta asignatura sea de gran importancia para los técnicos agrícolas del futuro.

En este tema únicamente abordaremos el problema de la iluminación, desde un punto de vista técnico, llegando a desarrollar los cálculos básicos necesarios para ejecutar un proyecto de iluminación artificial de un invernadero dedicado al cultivo de crisantemos.

## **2. BASES FITOTÉCNICAS Y FISIOLÓGICAS**

Realizaremos una breve reseña histórica, que nos permitirá conocer mejor los acontecimientos que antecedieron a los conocimientos actuales (Westwood, 1982): los griegos, en tiempos de Aristóteles, daban por cierto que el agua, el aire, el fuego y la tierra eran los elementos básicos e inmutable, y que las plantas recibían su sustancia ya elaborada de la tierra; en el siglo XVII el químico belga Van Helmont cultivó un sauce en 91 kg de tierra, y tras cinco años comprobó que el árbol había ganado 74 kg mientras que el suelo sólo había perdido 57, deduciendo que el peso ganado se debía casi exclusivamente al agua añadida, ya que entonces no se conocía el papel que desempeñaba el CO<sub>2</sub> del aire; en 1772, el científico inglés Joseph Priestly descubrió que las plantas verdes afectan al aire de manera inversa a como lo hacen los animales al respirar y un poco más tarde, el médico alemán Ingen-Housz señaló que la capacidad de las plantas para sintetizar hidratos de carbono a partir del CO<sub>2</sub> depende de la luz y, casi al mismo tiempo, Henry Cavendish observó que quemando hidrógeno en el aire se

podía producir agua. Estos trabajos fueron comprendidos por el químico francés Lavoisier cuando obtuvo la conclusión de que el agua es una combinación de dos gases que él llamó hidrógeno y oxígeno. Los hechos básicos de la fotosíntesis fueron descubiertos a finales del siglo XVIII, identificándose los productos iniciales y finales, y se llegó a conocer su dependencia de la luz y de las plantas verdes; así, Ingen-Housz propuso que la luz divide al CO<sub>2</sub> absorbido por la planta, explicando la liberación del CO<sub>2</sub>, mientras que otros decían que el agua se unía químicamente al carbono formando la unidad básica del hidrato de carbono (CH<sub>2</sub>O), y así se consideró resuelto el problema durante más de 100 años. En la década de 1930, el norteamericano Van Niel señaló que las bacterias pueden realizar la fotosíntesis sin producir oxígeno, concluyendo acertadamente que la luz divide el agua en vez del CO<sub>2</sub>, como se suponía anteriormente. Ya en 1937, el inglés Hill mostró que la fotosíntesis era un proceso que incluía dos pasos, de los que sólo el primero requería luz; el segundo paso (la reducción del CO<sub>2</sub> a hidrato de carbono) se encontró que no era exclusivo del proceso fotosintético:



El CO<sub>2</sub> entra en la hoja a través de los estomas y el agua a través de los vasos del xilema desde las raíces. El O<sub>2</sub> liberado en la reacción (\*) precede del agua y no del CO<sub>2</sub>, indicando que es el agua la que se divide fotoquímicamente. El O<sub>2</sub> liberado por la fotosíntesis es usado en la respiración celular o se difunde a la atmósfera a través de los estomas.

## 2.1. LA RADIACIÓN SOLAR Y LAS RADIACIONES LUMINOSAS

La información que se expone en este apartado ha sido tomada de la obra Tratado de Fitotecnia General, de la que es autor el profesor Urbano (1995), intentando reflejar fielmente su contenido para no desvirtuarlo ni reducir la riqueza de su exposición; en esta obra, cuya lectura recomendamos, se pueden consultar otros aspectos de interés referentes a factores climáticos de gran importancia en la producción hortofrutícola como son la radiación térmica, el frío invernal, la acción de las temperaturas



desfavorables y la protección frente a las mismas, entre otros temas de gran interés fitotécnico.

### 2.1.1. La radiación solar

#### 2.1.1.1 Naturaleza y composición

La radiación emitida por el sol está formada por una serie de vibraciones de naturaleza electromagnética que tienen en común la velocidad de propagación ( $\approx 300.000$  km/seg) y se diferencian en su longitud de onda. La luz y el calor son manifestaciones de la energía transmitida por estas ondas.

Puede calcularse la longitud de onda a que se emite la máxima cantidad de

$$\lambda = \frac{2.844}{T}$$

energía, de acuerdo con la ley de Wien (Urbano, 1995), mediante la expresión:

Siendo T la temperatura absoluta del cuerpo emisor, se obtiene la longitud de onda en micras ( $10^{-6}$  m). Teniendo en cuenta que se estima que el valor de T para el sol es de unos 5.700 K, la longitud de onda correspondiente a la máxima emisión de energía es de  $0,5\mu$ , aproximadamente.

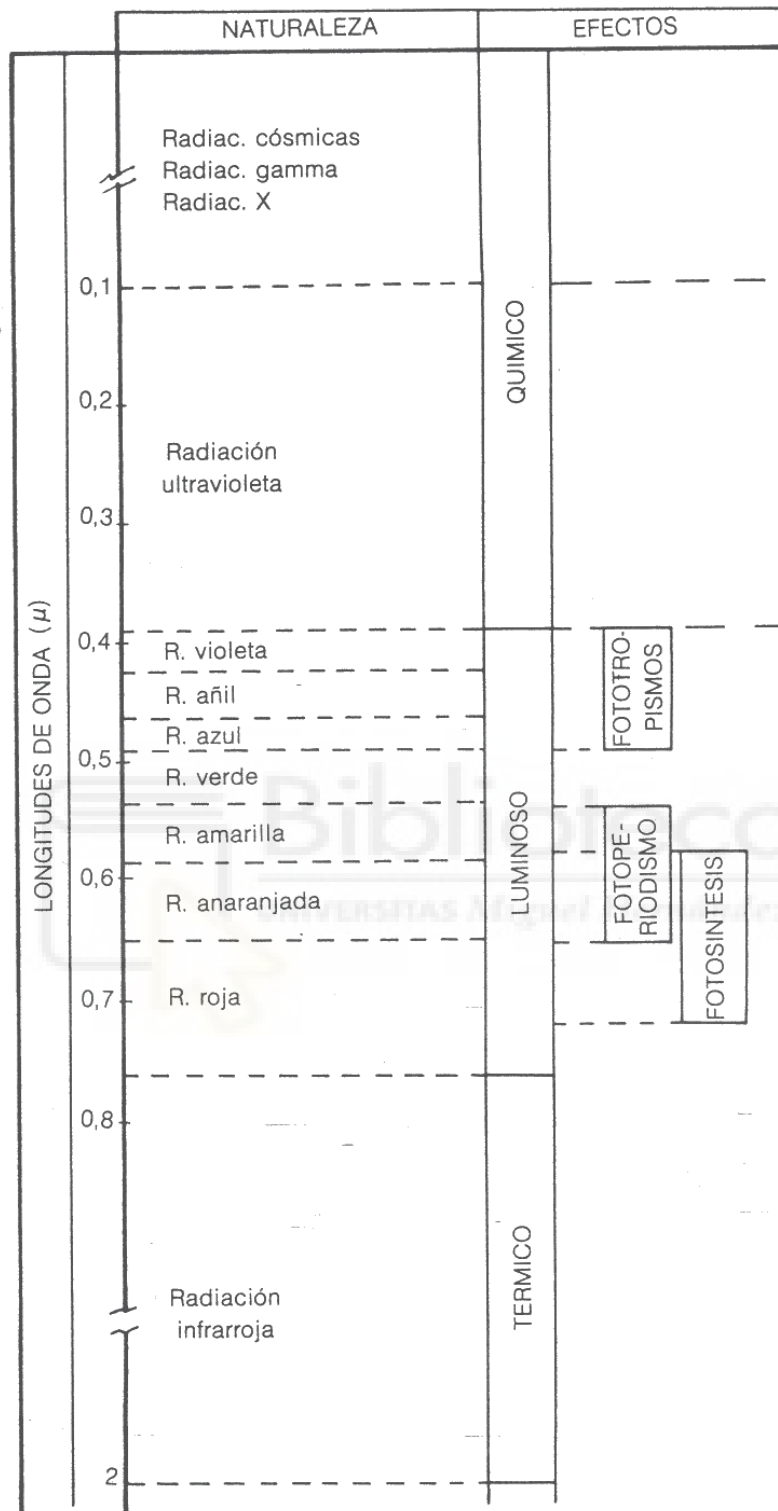
La composición y los efectos producidos por las diferentes radiaciones se analizan en la Figura 1 y Tabla 1.

**Tabla 1. Composición y efectos de la radiación solar**

<i>Efecto</i>	<i>Tipo de radiación</i>	<i>Longitud de onda en nanómetros (nm)</i>		
Químico	Radiaciones: Cósmicas, gamma, X	< 100		
Químico	Ultravioleta	De 100	a	390
Luminoso	Violeta	De 390	a	422
	Añil	De 422	a	460
	Azul	De 460	a	492
	Verde	De 492	a	535
	Amarilla	De 535	a	586
	Anaranjada	De 586	a	647
	Roja	De 647	a	760
Térmico	Infrarroja	De 760	a	2.000

Fuente: Urbano, 1995. 1 mm = 1.000  $\mu$ ; 1  $\mu$  = 1000 nm; 1 mm =  $10^6$  nm.

**Figura 1. Composición y efectos de la radiación solar**



Para llegar a la superficie terrestre, estas radiaciones han de atravesar la atmósfera, con las siguientes consecuencias:

- a) Las radiaciones de longitud de onda más corta son absorbidas, casi enteramente, por el ozono presente en las capas altas, pudiéndose afirmar

que, prácticamente, no llegan a la superficie terrestre radiaciones de longitud de onda inferior a  $0,29 \mu$  (290 nm).

De esta forma son eliminados los rayos gamma, radiaciones X y las ultravioletas más cortas, de gran poder de penetración y, potencialmente, dañinos.

- b) Las radiaciones luminosas de longitud de onda más larga ( $\lambda \geq 0,535 \mu$ ) atraviesan la atmósfera con facilidad, en tanto que lo hacen con mayor dificultad las de longitud de onda más corta.
- c) Las radiaciones térmicas son absorbidas en forma variable en función del vapor de agua y del  $\text{CO}_2$  existentes en la atmósfera. A mayor contenido de  $\text{CO}_2$  y estado higrométrico más alto, más debilitadas llegan las radiaciones infrarrojas.

#### 2.1.1.2 Valor energético de la radiación solar

Los actinómetros y pirheliómetros son aparatos utilizados en meteorología para medir la intensidad de la radiación solar. Ambos tipos de aparatos miden energía total de la radiación mediante la transformación de la energía química y luminosa en térmica. El valor energético de la radiación suele expresarse en calorías por unidad de superficie y de tiempo ( $\text{cal/cm}^2 \text{ min.}$ ).

La energía máxima recibida en la superficie externa de la atmósfera terrestre se denomina constante solar y su valor asciende a  $2 \text{ cal/cm}^2 \text{ min.}$  Impropiamente se designa esta cantidad “constante”, pues las medidas de mayor precisión que hoy pueden efectuarse demuestran que es variable, según las estaciones, en un  $\pm 10\%$  y que, además, tiene una fluctuación dependiente del número de manchas solares, con un período de diez días (Lorente, 1966).

La energía recibida a nivel de la superficie terrestre representa cifras muy inferiores, dependiendo de los siguientes factores:

a) Según las estaciones del año, la mayor o menor proximidad de la tierra y el sol motiva que la radiación sea más intensa o más débil.

b) La inclinación con que los rayos solares inciden sobre la superficie que recibe la radiación: La ley del coseno de la oblicuidad enseña que “la intensidad calorífica recibida varía proporcionalmente al coseno del ángulo formado por el plano de la superficie considerada y la perpendicular a la dirección de los rayos solares” (Figura 2).

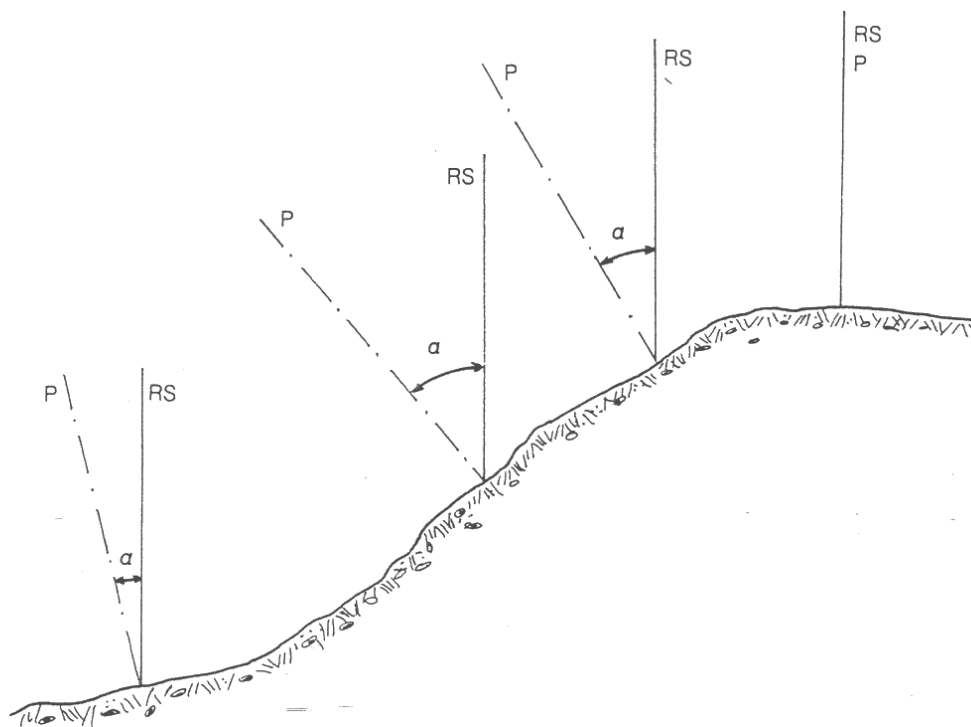
La oblicuidad con que inciden los rayos solares depende de:

b.1.) La latitud de la zona. A mayor distancia del Ecuador, mayor oblicuidad.

b.2) La orientación y dirección de la superficie que recibe la radiación.

b.3) La hora del día. La oblicuidad es máxima a la salida y puesta del sol y mínima a mediodía.

c) Composición y transparencia en la atmósfera. El vapor de agua y el CO<sub>2</sub> atmosféricos debilitan las radiaciones térmicas, y las nubes, el polvo y el humo interceptan la radiación luminosa.



**Figura 2. La intensidad de la radiación en una ladera varía de acuerdo con la ley del coseno de la oblicuidad**

Estos factores motivan que el valor instantáneo de la radiación solar sea variable y, lógicamente, bastante inferior al de la constante solar. En consecuencia, la energía total realmente recibida en la superficie terrestre, procede de la radiación solar, es bastante menor de la que potencialmente pudiera esperarse.

Valores máximos registrados en los observatorios de nuestras regiones más meridionales y en las mejores condiciones de recepción de la radiación –en verano, a mediodía y con atmósfera diáfana- no superan 1.4 cal/cm<sup>2</sup> min. Lógicamente, en localidades situadas más al norte y en peores condiciones de transmisión de la radiación, esta cifra resulta menor.

En la Tabla 2 pueden observarse valores medios correspondientes a la intensidad de radiación realmente medida, expresados en cal/cm<sup>2</sup> min, en los observatorios de Barcelona, Madrid y Almería. Se indican dos series de valores, según se determinen los valores medios en relación con las horas de insolación máxima posible ( $i_N$ ) o con el número de horas de sol con cielo despejado ( $i_n$ ).

**Tabla 2. Valores medios de la radiación solar en cal/cm<sup>2</sup> min**

Localidad		E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
Barcelona (41° 24')	$I_N$	0,29	0,38	0,44	0,52	0,56	0,60	0,64	0,58	0,47	0,39	0,31	0,25
	$I_n$	0,58	0,70	0,99	0,98	1,01	0,98	0,93	0,92	0,88	0,77	0,66	0,54
Madrid (40° 25')	$I_N$	0,30	0,40	0,45	0,56	0,60	0,66	0,73	0,67	0,55	0,43	0,32	0,26
	$I_n$	0,60	0,65	0,90	0,95	0,96	0,93	0,87	0,85	0,81	0,72	0,61	0,46
Almería (36° 50')	$I_N$	0,37	0,47	0,54	0,66	0,66	0,70	0,74	0,78	0,60	0,49	0,40	0,34
	$I_n$	0,62	0,75	0,89	1,00	0,95	0,94	0,91	0,99	0,85	0,76	0,65	0,59

Fuente: Urbano (1995), tomado del Servicio Meteorológico Nacional.

Las cifras registradas por algunos observatorios españoles correspondientes a energía total recibida durante el día pueden observarse en la Tabla 3 (Urbano, 1995).

**Tabla 3. Energía total recibida en el día en cal/cm<sup>2</sup> día**

Localidad	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Media
La Coruña (43° 22')	119	204	249	398	450	482	495	428	326	243	152	106	304
Barcelona (41° 24')	168	247	315	418	489	542	564	484	354	258	184	141	347
Madrid (40° 25')	175	259	327	443	519	591	641	564	416	286	192	149	380
Valencia (39° 29')	186	261	339	434	461	581	575	507	393	287	191	158	364
Sevilla (37° 23')	220	300	354	464	558	628	632	563	423	311	221	183	405
Almería (36° 50')	224	304	392	523	567	618	641	639	448	332	242	198	426
Las Palmas (28° 09')	300	368	443	495	558	579	570	536	487	373	310	273	441

Fuente: Urbano (1995), tomado del Servicio Meteorológico Nacional.

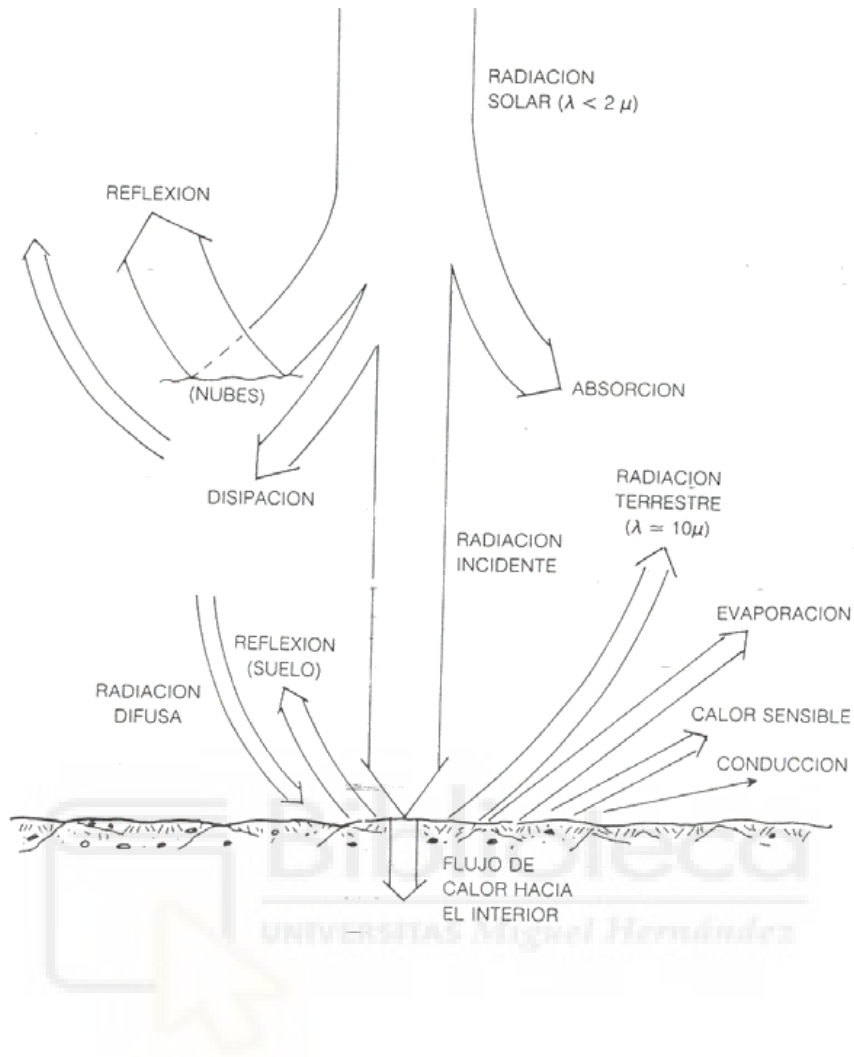
Estas cifras representan de 300 a 450 cal/cm<sup>2</sup> día *como valor medio a lo largo del año* en las distintas estaciones españolas. Valores inferiores a la media, desde 100 cal/cm<sup>2</sup> día, se producen en los meses de invierno en las estaciones más septentrionales.

Los valores más elevados, que llegan a superar las 600 cal/cm<sup>2</sup> día, se producen en los meses de verano en las zonas más meridionales.

La energía total recibida en nuestro territorio varía entre once y quince mil millones de kilocalorías por hectárea y año, equivalentes al calor de combustión de un millón a millón y medio de kilogramos de fuel-oil. De esta energía, la mayor parte origina el calentamiento de la superficie terrestre y cuerpos que en ella se encuentran y pasa al interior del suelo, calentando las capas internas de la tierra (calor sensible). Una fracción muy importante es devuelta a la atmósfera por radiación terrestre, evaporación (calor latente) y transpiración, convección, conducción, reflexión, etc. Sólo una pequeña parte (1-25) es utilizada por las plantas.

La Figura 3, debida a Geiger (1965), muestra en forma clara la incidencia de cada uno de los procesos en el calentamiento diurno de la superficie terrestre. El grosor de las flechas es proporcional a la intensidad de cada proceso.

**Figura 3. Energía de la radiación solar (Geiger, 1965)**



### 2.1.1.3. Balance energético de la biomasa (fitomasa)

Según Demolon (1966), si se iguala a 100 la energía total incidente sobre la planta, su distribución en distintas funciones vegetales puede ser del siguiente orden:

Energía consumida por la fotosíntesis .....	0,66
Energía consumida por la transpiración .....	48,39
Energía transmitida por las hojas .....	31,40
Energía perdida por radiación .....	19,55

Comparando las cifras precedentes con las obtenidas al calcular el calor de combustión de nuestras cosechas, se encuentra que la energía solar fijada en forma de energía química por la vegetación, puede considerarse muy débil. En efecto, vegetales cultivados actualmente como biomasa (fitomasa) para producir energía –pataca, cardos,

caña de azúcar, etc.- están proporcionando cosechas máximas del orden de 25 a 30 toneladas de materia seca con un calor de combustión de 100 a 120 millones de kilocalorías por hectárea y año. Estas cifras suponen solamente del 6 al 8% de la energía aportada a la superficie de la tierra por la radiación solar.

También parece interesante destacar que, a pesar del bajo rendimiento energético que presenta la vegetación, es únicamente de su capacidad para convertir la energía radiante en bioenergía, de la que deriva la posibilidad de obtener alimentos para los organismos heterótrofos y de la que se obtienen todas las reservas energéticas de la tierra.

### **2.1.2. Las radiaciones luminosas**

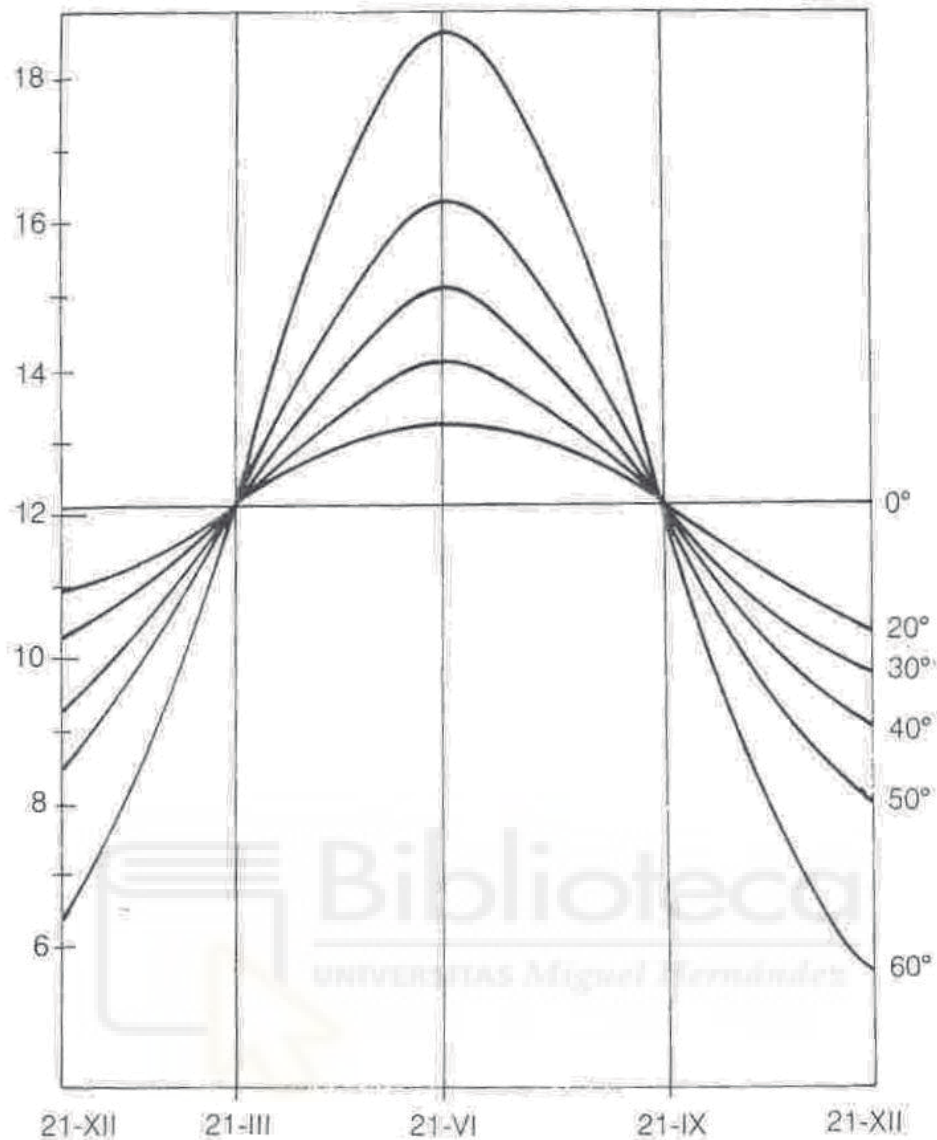
#### **2.1.2.1. Duración de la iluminación: Fotoperiodismo**

La duración de la iluminación diurna varía según las estaciones del año y las plantas no son insensibles a esta variación. Se conoce con el nombre de fotoperiodismo la respuesta que ofrecen los vegetales a la alternancia de períodos de iluminación (*hemeroperíodo*) y de oscuridad (*nictoperíodo*), durante el día. Las respuestas pueden observarse ya en algunas fases vegetativas (germinación de ciertas semillas, formación y brotación de tubérculos y bulbos, etc.), pero su manifestación más importante se produce en la fase de floración.

La figura 1.5 muestra la variación de la duración del día a lo largo del año para diferentes latitudes. Puede comprobarse como las, aproximadamente, 12 horas de luz diurna del Ecuador van aumentando en verano y disminuyendo en invierno a medida que aumenta la latitud. Para nuestro territorio peninsular, situado aproximadamente, entre los paralelos 36 y 44 norte, la duración máxima del día alcanza 15,5 horas en verano y los días más cortos solamente llegan a 9,4 horas en invierno.



**Figura 4. Variación anual de la duración del día según la latitud**



Fuente: Urbano, 1995

#### 2.1.1.2.1 Clasificación de las plantas cultivadas en función de su respuesta al fotoperíodo

En relación con esta respuesta, es habitual clasificar las plantas cultivadas como “de día corto, largo e indiferente”.

\* Son *plantas de día corto* aquellas que proceden de las zonas ecuatorial, tropical y subtropical, donde la duración del día oscila entre 10 y 13 horas a lo largo del año, pero existen temperaturas suficientes para la floración. Estas especies florecen con iluminación diurna inferior, generalmente, a las catorce horas.

A nivel de especie vegetal, puede decirse que son de día corto, plantas de gran cultivo: maíz, sorgo, arroz, judía, soja, tabaco, algodón, mijo, etc. Entre las plantas de interés en jardinería se encuentran algunas como crisantemos y poinsetias.

El aumento de la duración de iluminación, superando las catorce horas diarias, puede provocar retraso en la floración, llegando, en ocasiones, a impedirla. Estas plantas, cultivadas en condiciones de día corto, pasan rápidamente por las fases vegetativas y adelantan la floración.

\* Las *plantas de día largo* proceden de latitudes extratropicales, ya que en estas zonas, a causa de la insuficiencia de temperaturas, la vegetación se inicia tardíamente y la floración se hace en los días largos de la primavera y del verano. Florecen con duración de iluminación superior, generalmente, a las catorce horas diarias.

Son especies típicas de día largo todos los cereales de invierno –trigo, cebada, centeno y avena-; la mayor parte de las leguminosas de grano de la zona templada comunes en nuestras latitudes –alfalfa, veza, tréboles, zulla, esparceta, etc.- y algunas plantas industriales de gran cultivo en nuestra agricultura –remolacha, lino, girasol, etc.- Entre las de interés en jardinería se encuentran las petunias y gloxinia.

\* Las *plantas indiferentes* se muestran insensibles a la duración de la iluminación. Es el caso de la mayor parte de las especies frutales de floración precoz, para las que la elevación de la temperatura durante unos días de invierno o de primavera, es suficiente para la iniciación del proceso de floración.

#### 2.1.2.1.2. Inducción fotoperiódica

Las primeras experiencias que pusieron de manifiesto la influencia de la duración de la iluminación en el desarrollo vegetal se deben a Garner y Allard (1920), quienes demostraron que se podía acortar o largar el ciclo vegetativo de variedades de soja (*Glicine soja* L.) haciendo variar aquélla.

Con la variedad de soja Biloxi, y más tarde con la de tabaco Maryland, comprobaron estos autores que, cultivadas en las altas latitudes de Washington, no florecían en verano, contentándose con producir muchas hojas y alcanzando alturas

anómalas. Estas mismas variedades, cultivadas en invierno –en invernadero, por supuesto-, florecían abundantemente después de haber producido muchas menos hojas.

En las experiencias de Garner y Allard se comprobó, además, que no es necesario que la planta esté sometida durante toda su vida a unas determinadas condiciones de fotoperíodo. Es suficiente con la exposición durante varios días a condiciones de fotoperíodo adecuado (euperíodo) para que la planta quede inducida a florecer, aunque más tarde cambien las condiciones de iluminación (disperíodo). El número de exposiciones en condiciones euperiódicas es diferente para cubrir las necesidades de iluminación de las distintas especies vegetales y, para las cultivadas, debe atenderse además, en el estudio de este comportamiento, al nivel de variedad de cultivo (cultivar).

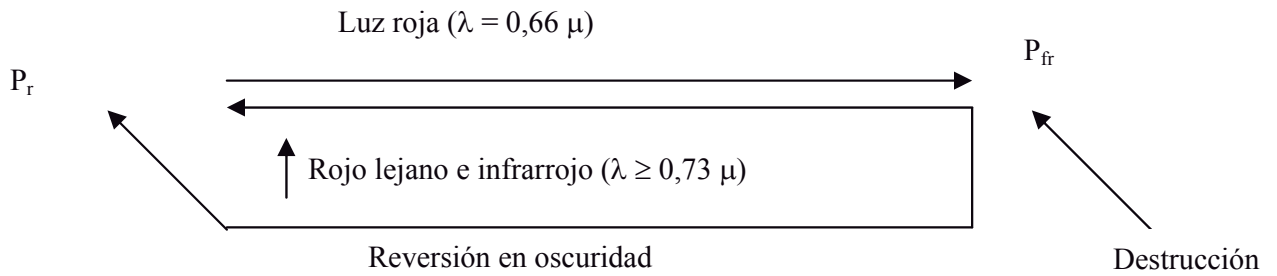
En unos casos bastarán pocos fotoperíodos –especies y variedades muy sensibles al fotoperíodo-, mientras que en otros será necesario mantener el material vegetal expuesto a un número alto de fotoperíodos.

El conocimiento del mecanismo de la inducción fotoperiódica es moderno, debiéndose a Borthwick Hendricks (1950) el descubrimiento del fitocromo, pigmento de naturaleza cromoproteica y color azulado presente en las hojas de todas las plantas. El fitocromo es el agente fotosensible capaz de desencadenar el proceso fotoperiódico.

Aparece el fitocromo en dos formas reversibles que presentan capacidad para la máxima absorción de radiaciones luminosas en dos bandas del espectro:

- a) Forma  $P_r$  ( $\lambda = 0,66 \mu$ ), para la radiación roja.
- b) Forma  $P_{fr}$  ( $\lambda = 0,73 \mu$ ), para la radiación roja sombra o “far red” en el límite del rojo y del infrarrojo.

El equilibrio de ambas formas corresponde a la radiación incidente. Según Lhoste (1972), el equilibrio puede expresarse mediante el esquema siguiente (Urbano, 1995):



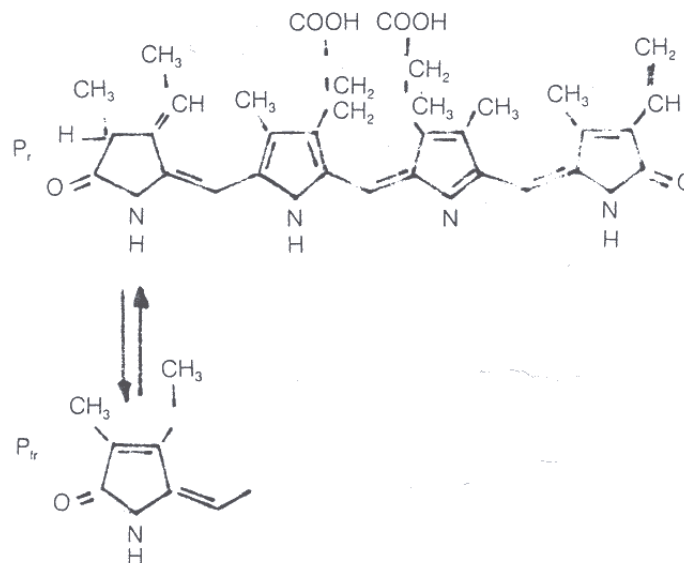
Durante el día, las radiaciones rojas de la radiación solar llevan a la formación de  $P_{fr}$ . La radiación infrarroja convierte el  $P_{fr}$  en  $P_r$ , pero, además, la oscuridad produce un efecto similar al de la radiación infrarroja. Las formas de  $P_{fr}$  que no han actuado en el mecanismo fotoperiódico o convertidas en  $P_r$ , son destruidas.

La forma fisiológicamente activa es la  $P_{fr}$ , siendo el nivel de  $P_{fr}$  existente en las hojas el que determina la floración de la planta. Las especies de día largo florecen cuando se alcanzan niveles elevados de  $P_{fr}$ , y las de día corto solamente lo hacen con niveles bajos.

De acuerdo con ello, es la oscuridad (nictoperíodo) el agente responsable de la inducción fotoperiódica. Actualmente, se propone clasificar las especies vegetales como de noche larga y corta en lugar de día corto y largo, respectivamente.

El cromóforo del fitocromo fue aislado por Turner y Hendricks (1965) y está constituido por cuatro anillos pirrólicos en cadena abierta, similar al de los pigmentos ficocianina y ficoeritrina de las algas.

**Figura 5. Estructura química del cromóforo del fitocromo (Lhoste, 1972)**



Fuente: Urbano, 1995

#### *2.1.2.1.3 Carácter hormonal del proceso*

En consecuencia, se produce una primera reacción de naturaleza fotoquímica que motiva el cambio de forma del fitocromo y caracteriza el nivel de  $P_{fr}$  en las hojas. A partir de aquí, nuevas reacciones de naturaleza bioquímica conducirán a la formación de sustancias estimuladoras de la floración.

Aunque no existe una hormona específica de la floración, es necesario admitir que cada planta tiene sus estimulantes e inhibidores florales, desapareciendo unos para dar paso a los otros. La capacidad de una yema para florecer depende del equilibrio entre inhibidores y promotores de la floración más que del nivel absoluto de alguno de ellos (Westwood, 1982).

Debe tenerse en cuenta, además, que el proceso de floración en los vegetales es muy complejo y en él intervienen numerosos factores que actúan en formas sinérgica y antagónica. Está demostrado que no son solamente las condiciones fotoperiódicas las que van a regular el proceso, sino que la acción de las temperaturas, las oscilaciones térmicas (termoperiodismo), el frío estimulador (vernalización) y los reguladores de crecimiento juegan un papel decisivo en la floración y pueden superponerse a la acción del fotoperiodismo.

#### *2.1.2.1.4. Consecuencias agrícolas*

El fotoperiodismo influye poderosamente sobre la precocidad y el rendimiento de las cosechas: una planta cultivada en condiciones euperiódicas pasa rápidamente por las etapas vegetativas y florece pronto. Si no existen otras dificultades, fructificará y madurará pronto, ofreciendo buena precocidad. Esta propiedad debe aprovecharse para aquellas especies cultivadas por sus flores, frutos o semillas, y en las que interesa acudir pronto a un mercado que paga los productos de principios de estación (primores).

Normalmente, las condiciones euperiódicas son las más adecuadas para obtener altas producciones, ya que para ello se requiere un paso más prolongado por las fases vegetativas. Aquellas especies que se cultivan para aprovechar órganos vegetativos

(hortícolas de raíz, tallo u hojas, especies forrajeras, plantas raíces, etc.) son más interesantes cultivadas en condiciones dispéridicas para prolongar el tiempo de formación de estos órganos.

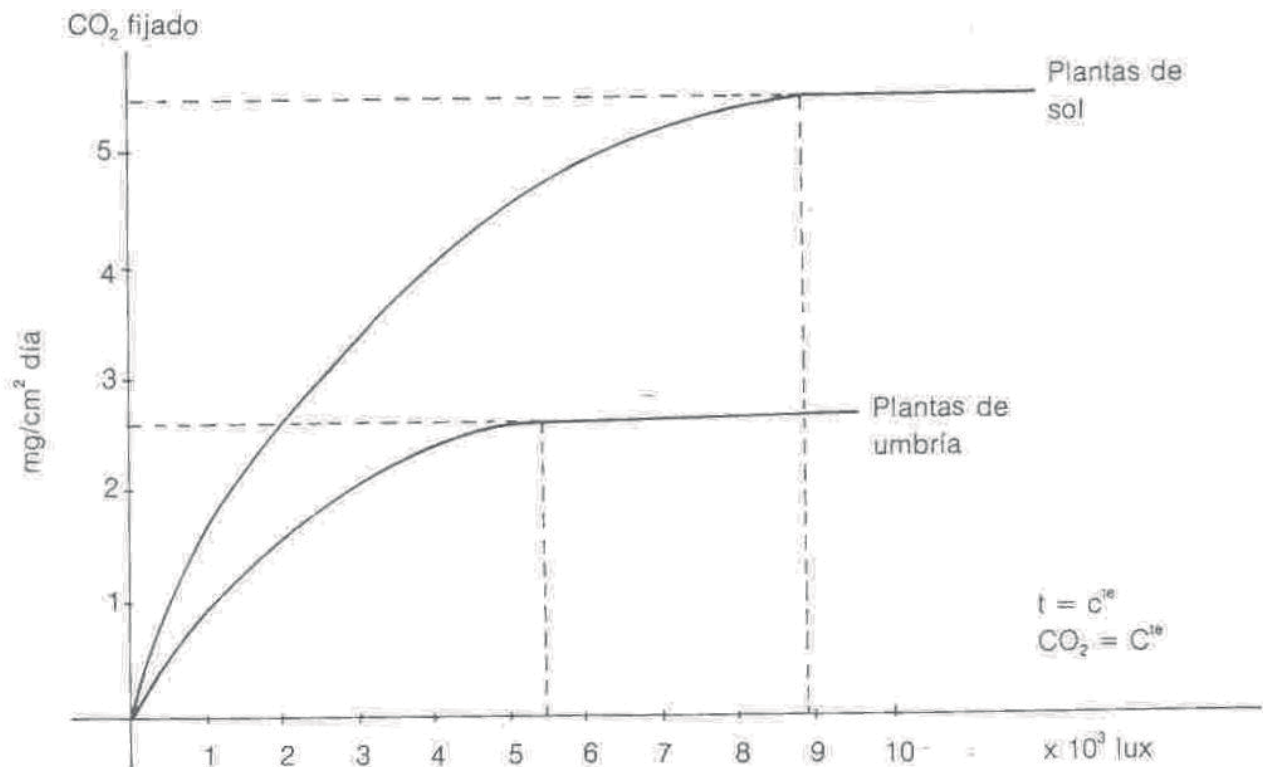
La luz también tiene influencia sobre la germinación de las semillas. Muchas especies sólo germinan cuando están iluminadas o cuando se las somete a tratamientos alternados de iluminación y oscuridad. De nuevo, el pigmento que capta los estímulos luminosos es el fitocromo. En las semillas, el pigmento está localizado en el embrión y presenta las dos formas reversibles que ya conocemos. La iluminación con luz roja, o la blanca de la luz diurna o de las lámparas fluorescentes, provoca la transformación del  $P_r$  en  $P_{fr}$  y motiva la germinación de las semillas que requieren luz. La iluminación con luz roja oscura, o la oscuridad, transforma el  $P_{fr}$  en  $P_r$  y no permite su germinación (Besnier, 1989).

#### 2.1.2.2. Intensidad de iluminación

En atmósferas diáfanas (ausencia de nubes y de polución), la intensidad luminosa es sensiblemente proporcional a la intensidad de la radiación solar. En ensayos realizados manteniendo constantes la temperatura y el contenido en  $CO_2$  de la atmósfera, se observa que, si la planta está sometida a baja intensidad luminosa, cualquier incremento de iluminación origina, en principio, un aumento de la actividad fotosintética y, en consecuencia, de la formación de sustancias orgánicas por la planta.

A continuación puede alcanzarse un punto en que la fijación de carbónico ya no aumenta porque se ha alcanzado una situación de saturación lumínica de la planta.

**Figura 6. Actividad fotosintética e iluminación en plantas de gran cultivo**



Fuente: Urbano, 1995

Es frecuente hablar de plantas de sol (heliófilas) y plantas de sombra o de umbría, para relacionar la respuesta de los vegetales ante la intensidad luminosa. Las primeras requieren fuertes insolaciones y, a su vez, son capaces de aprovechar intensidades luminosas importantes, ya que su nivel de saturación lumínica es alto. Generalmente, suelen ser especies de altos rendimientos.

Las especies de umbría aprovechan peor la intensidad luminosa, ya que se saturan antes de luz y su actividad fotosintética es más baja. Por otra parte, estas especies suelen presentar reducida actividad vegetativa y se contentan con menores niveles de iluminación.

A modo de resumen, pueden indicarse las siguientes relaciones:

a) La abundancia de luz:

- Favorece el ahijamiento, la floración y la fructificación.
- Intensifica la producción de pigmentos.
- Incrementa la actividad fotosintética.
- Intensifica el olor y el sabor de los vegetales.

- Favorece la lignificación y proporciona resistencia al encamado.
- Disminuye el crecimiento en altura.
- Aumenta la resistencia de las plantas al ataque de insectos y de criptógamas.

b) Intensidades luminosas débiles:

- Producen color verde claro en la vegetación y reducida formación de pigmentos (carotenos, xantofilas, licopeno, etc.).
- Favorecen el crecimiento en altura y la elongación de los tallos.
- Inducen el encamado.
- Reducen la formación de sustancias orgánicas.
- Estimulan la formación de raíces y tubérculos.
- Aumentan la sensibilidad a plagas y enfermedades.

Con frecuencia se observa que las diferentes zonas de un vegetal están expuestas a iluminaciones diferentes, ya que las más altas tienden a sombrear las partes más bajas. Medidas realizadas para comprobar la intensidad de iluminación recibida demuestran que ésta puede ser del orden de 1/10, o aún menor, en las zonas sombreadas. Puede observarse cómo, en estos casos, la planta procura adaptarse situando convenientemente sus ramas y hojas.

Por otra parte, se comprueba también que el óptimo luminoso para la fijación fotosintética no es el mismo durante toda la vida de la planta. A medida que la planta envejece van siendo cada vez más importantes sus exigencias en intensidad luminosa. A medida que la planta envejece van siendo cada vez más importantes sus exigencias en intensidad luminosa. A menudo coinciden estas mayores exigencias en las fases finales del desarrollo con las condiciones de insolación máxima.

Resulta interesante aplicar estos conocimientos cuando se realizan cultivos asociados o mezclados. En agricultura práctica, es frecuente ver cómo en algunas regiones se asocian cultivos de distinto porte (siembras de garbanzos en olivares andaluces, siembras de judías asociadas a maíz en Galicia y Asturias, etc.). En estos casos, la planta de porte más alto o de crecimiento más rápido sombrea a las de menor



porte y éstas han de ser capaces de soportar el sombreamiento sin que su rendimiento se reduzca notablemente.

### 2.1.2.3. Naturaleza de las radiaciones luminosas

Aunque la radiación solar lleva las radiaciones químicas, luminosas y térmicas, resulta útil considerar aisladamente el efecto de las distintas radiaciones originadas por los diferentes focos radiantes utilizados en cultivos con iluminación artificial.

Las radiaciones de longitud de onda muy corta (ultravioletas), emitidas por distintos tipos de lámparas, pueden ser estimulantes de la germinación, pero sólo cuando se utilizan a baja intensidad y durante poco tiempo. Su influencia es nefasta a dosis prolongadas, ya que provocan quemaduras y necrosis en los tejidos vegetales.

Aunque las luces de longitud de onda inferior a  $0,5 \mu$  (azul, añil y violeta) pueden producir fotosíntesis, siempre que tengan un tiempo prolongado de actuación, son incapaces de garantizar la alimentación de la planta y provocan su ahilamiento. Sin embargo, que el azul es la banda del espectro visible de mayor eficacia para los fenómenos fototrópicos.

Se sabe que la actividad fotosintética tiene un máximo de absorción en la banda del azul y otro en la del rojo; sin embargo, la ausencia de luces de longitud de onda larga produce fotosíntesis deficientes. En horticultura, la iluminación artificial está asegurada por distintos tipos de lámparas, cuyo estudio se aborda en el apartado 3.

## **Figura 7. Espectro electromagnético y espectros de acción de algunos procesos de la planta**

Fuente: Westwood, 1982 (Según L. Machlis y J.G. Torrey, *Plants in action*. W.H. Freeman and Company. Copyright© 1959).

### 2.1.2.4. Interacción entre el agua disponible, la luz y la temperatura

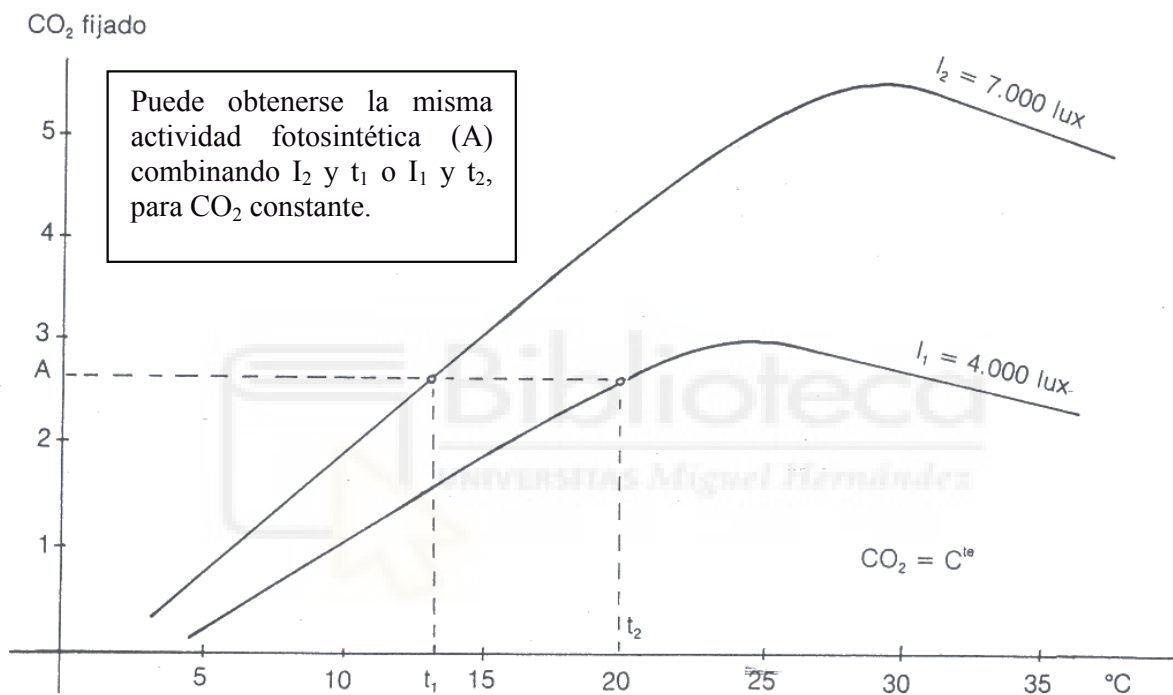
La interacción entre estos factores es bastante fácil de explicar si se relacionan la luz y la temperatura con la evapotranspiración (ET). Independientemente de otros factores que también actúan sobre la ET, como pueden ser la humedad relativa de la atmósfera, el viento o las condiciones del suelo, es conocido que las regiones sometidas a insolaciones fuertes con iluminaciones y temperaturas elevadas, proporcionan fuertes consumos de agua por ET.

En todo momento, el agua del suelo disponible para el vegetal es la diferencia entre los aportes hídricos, naturales o de riego, y el consumo por ET. Como consecuencia, iluminaciones fuertes y temperaturas elevadas reducen el agua disponible al aumentar la ET. En estas regiones, la insuficiencia de las precipitaciones naturales debe suplirse con el riego.

Existe, además, una cierta compensación en la actuación de la luz y la temperatura en el sentido en que fuertes intensidades luminosas pueden compensar, dentro de ciertos límites, temperaturas bajas y viceversa.

Se comprueba, además, que la intensidad luminosa y las temperaturas elevadas favorecen la obtención de altos rendimientos, siempre que la humedad no aparezca como factor limitante.

**Figura 8. Compensación entre iluminación y temperaturas**



Fuente: Urbano, 1995

#### 2.1.2.5. Influencia de la iluminación sobre la absorción de elementos minerales

La influencia es de tipo indirecto y, de nuevo, hay que buscarla a través del mecanismo de la evapotranspiración. Puede establecerse una serie decreciente, para esta influencia, representada por:



La luz ejerce una influencia muy fuerte sobre la absorción del Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, y es prácticamente nula sobre el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y K<sup>+</sup>. Para los aniones SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, su influencia es de tipo intermedio.

Ya se ha indicado que, con iluminaciones intensas, la ET aumenta y, si existe agua disponible en el suelo, la absorción radicular será más importante. Este aumento de absorción radicular repercute sobre la cantidad global de iones absorbidos.

Como explicación a la pregunta: ¿Por qué la planta tiende a absorber más  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y menos  $\text{K}^+$ ?, el profesor Urbano indica: Puede ser un mecanismo de autodefensa celular, ya que el  $\text{Ca}^{2+}$  y, aunque en menor medida, el  $\text{Mg}^{2+}$  son iones plasmolizantes que reducen la permeabilidad de las membranas celulares y, en consecuencia, podrían mejorar el comportamiento de la planta ante posibles estrés hídricos.

Los aniones se comportarían, en este sentido, como acompañantes de los cationes anteriores, manteniendo el equilibrio eléctrico de las soluciones.

Con menor intensidad luminosa hay menos producción de sustancias orgánicas y, al ser muy poco afectada la absorción de  $\text{K}^+$  existirá mayor contenido de éste por unidad de peso de materia seca.

#### 2.1.2.6. Posible influencia de las fases lunares en el desarrollo vegetal

Es un hecho bien conocido por los agricultores que el crecimiento de los vegetales, las fechas en que se producen las fases de su desarrollo y la cantidad y calidad de las cosechas obtenidas con las plantas cultivadas, pueden estar notablemente influidas por la luna e, incluso, por la acción de los restantes planetas que integran el Sistema Solar (Gabriel, 1988). Para explicar esta influencia, el profesor Urbano (1995), se hace la siguiente pregunta: ¿existirá alguna explicación científica que justifique estas situaciones?. Los numerosos agrónomos que se han dedicado al estudio de este tema suelen apoyar esta influencia en dos factores: acción sobre las mareas y efecto luminoso.

Las mareas se deben a la fuerza de atracción del sol y la luna sobre la superficie terrestre y, aunque la masa solar es muy superior a la de la luna, la mayor proximidad de ésta hace que su influencia sea más notable. Su influjo se manifiesta (Rossi, 1988), sobre todo cuanto se halla sobre la superficie de la tierra sea sólido, líquido o gaseoso,

mineral, vegetal o animal, con amplitudes variables según su naturaleza y estado físico. En este sentido, influirán en la circulación de la savia, y su efecto será diferente según sea el porte de las plantas y la estructura de su sistema vascular.

En cualquier caso, la influencia más significativa de la luna depende de la luminosidad. Aquélla, carece de luz propia y su superficie absorbe el 93% de la energía luminosa que recibe del sol, por lo que sólo transmite a la tierra el 7% restante. Se ha comprobado que la intensidad luminosa en noches de luna llena, es similar a la proporcionada, a 12 m de distancia, por una lámpara de 100 W de potencia. Esta débil intensidad luminosa es insuficiente para provocar un incremento de fotosíntesis que pudiera explicar una mayor producción de fotoasimilados.

Por esta razón, la justificación del influjo de la luna hay que buscarla por los caminos del fotoperiodismo y de la inducción fotoperiódica. Aunque de débil intensidad, el manantial luminoso de las noches de plenilunio es capaz de excitar los fitocromos y actuar, en consecuencia, como un suplemento de la duración de la iluminación diurna. Condiciones de iluminación diurna correspondientes a días cortos pueden transformarse, por esta causa, en condiciones de día largo.

Las especies muy sensibles al fotoperíodo pueden quedar inducidas a florecer por la exposición a unos pocos fotoperíodos largos. Las lechugas y rábanos son ejemplos muy característicos citados por Azzi (1959): “Las lechugas y rábanos sembrados en cuarto creciente florecen rápidamente y dan productos de baja calidad comercial”. En ambos casos, se trata de plantas de día largo muy sensibles al fotoperiodismo, que conviene sembrar en cuarto menguante para que no se induzcan a florecer. Aquí parece que existe una razón muy clara que explica el fenómeno pero, desgraciadamente, no siempre ocurre así. Cada especie cultivada pueden presentar comportamientos diferentes, incluso, para sus distintas variedades. Debe recordarse lo que se dijo en relación con las variedades cultivadas (cultivares) en el sentido en que su sensibilidad al fotoperíodo puede ser muy diferente de unos a otros cultivares.

### **3. TECNOLOGÍA UTILIZADA PARA REDUCIR O AUMENTAR LA RADIACIÓN LUMINOSA NATURAL EN LOS INVERNADEROS. EFECTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN Y LA RENTABILIDAD DE LOS CULTIVOS**

#### **3.1. MÉTODOS FÍSICOS UTILIZADOS PARA MODIFICAR EL EFECTO DE LA ILUMINACIÓN. EFECTOS FISIOLÓGICOS Y CONSECUENCIAS AGRONÓMICAS**

Entre los distintos métodos empleados para modificar la iluminación en el interior del invernadero, podemos citar:

Encalado (blanqueo) de la cubierta y laterales del invernadero para reflejar la luz en verano y reducir así las altas temperaturas.

Blanqueado de las propias plantas con productos como el caolín.

Pantallas térmicas.

Mallas y pantallas de sombreamiento.

Mallas blancas o negras en suelo, que además evitan el crecimiento de malas hierbas.

Iluminación artificial.

Sobre las pantallas térmicas, mallas de sombreamiento, pinturas y recubrimientos, ya estudiados en temas precedentes, no insistiremos, pasando a continuación al estudio de la iluminación artificial.

##### **3.1.3. Iluminación artificial. Tipos de lámparas.**

A continuación se expondrá un resumen de los distintos tipos de lámparas, según el cuadro siguiente:

<b>TIPO DE LÁMPARA</b>
<b>INCANDESCENCIA</b> – Estándar – Incandescentes reflectoras – Incandescentes halógenas
<b>DESCARGA DE GASES:</b> – De vapor de vapor de mercurio a alta presión – Luz mezcla – Lámparas de vapor de mercurio con halogenuros – De vapor de sodio a baja presión – De vapor de sodio a alta presión – Tubos fluorescentes

El cálculo de la iluminación se realiza en el apartado 4 de este tema.

### 3.1.3.1. Incandescentes

#### ▪ Incandescentes estándar o convencionales:

La primera lámpara de incandescencia fue inventada por Edison en 1879, empleando un filamento de carbón encerrado en una ampolla de vidrio en la que se había practicado el vacío.

Emiten luz mediante un filamento que se pone incandescente por el paso de la corriente eléctrica. Al fenómeno se le denomina termorradiación (calor y luz emitido por un cuerpo caliente).

A mayor temperatura del filamento, mayor energía radiada, estando limitada la temperatura por la de fusión del material que constituye el filamento y de su velocidad de evaporación del mismo.

Este tipo de lámparas ha evolucionado con el paso del tiempo, habiéndose empleado filamentos de osmio, de tántalo y finalmente de tungsteno, llegándose al empleo de gases nobles o combinación de ellos que han sustituido al vacío original.

El tungsteno es un metal refractario con una temperatura de fusión de 3.378°C (3.651 K). La temperatura de funcionamiento de las lámparas suele estar comprendida entre los 2.400 K cuando presentan vacío y los 2.900 K en lámparas de gas. El gas del interior, cuando existe, tiene por función evitar la evaporación del tungsteno, además de mejorar la conducción del calor desde el filamento hasta las paredes de la lámpara y

desde aquí por transmisión se conduce al exterior. Además, el gas evita el ennegrecimiento de las paredes de la lámpara por condensación de tungsteno.

La eficacia de estas lámparas es muy baja, no superando normalmente los 28 lm/W. Éstas se conectan diariamente a la red sin necesidad de accesorios.

Las características de potencia y flujo luminoso de las lámparas incandescentes estándar las resumimos en la siguiente tabla:

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)		Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	
	125V	220V		125V	220V
10	80	70	150	2.340	2.100
15	135	120	200	3.250	2.920
25	---	230	300	---	4.750
25	260	---	300	5.100	---
40	490	430	500	9.300	8.400
60	820	730	1.000	20.000	18.800
15	1.070	960	1.500	31.000	30.000
100	1.560	1.380	2.000	43.000	40.000

Fuente: De Francisco *et al.* (1992)

Estas lámparas se caracterizan por presentar un amplio espectro de emisión continuo, del que sólo una pequeña parte corresponde a la zona visible, mientras que la mayor parte se emite en la región de los rayos infrarrojos, por lo que su eficacia lumínica es muy baja, aunque su luz es agradable y su reproducción cromática excelente.

- Incandescentes reflectoras

Se fabrican mediante la evaporación de una fina capa de aluminio en el interior de la ampolla. Con ellas se puede dirigir el flujo luminoso, y además el factor de conservación es mejor debido a que el reflector está en el interior impidiendo así que en él se deposite el polvo.

- Incandescentes halógenas

En su interior se introduce un halógeno, de forma que este gas reduce la evaporación del tungsteno, reduciendo el ennegrecimiento de la lámpara y aumentando la vida de la misma, hasta unas 2.000 horas. Se utilizan para luz de proyección,



permitiendo con lámparas de pequeñas dimensiones obtener gran control del haz luminoso.

El tungsteno volatilizado reacciona con el halógeno volátil existente, formándose un halogenuro de tungsteno que por convección se deposita en el filamento de la lámpara, donde la temperatura es elevada, disociándose y depositándose el tungsteno en el filamento.

Las características de potencia y flujo luminoso de las lámparas incandescentes estándar las resumimos en la siguiente tabla:

<b>Potencia (W)</b>	<b>Flujo luminoso (lm)</b>	
	<b>125V</b>	<b>220V</b>
<b>500</b>	11.000	10.500
<b>750</b>	---	15.000
<b>1.000</b>	---	22.000
<b>1.500</b>	---	33.000
<b>2.000</b>	---	44.000

Fuente: De Francisco *et al.* (1992)

### 3.1.3.2. Descarga de gases

Las lámparas de descarga de gases contienen 3 componentes principales: el tubo de descarga, los electrodos y el gas de descarga. El tubo de descarga contiene y aísla del ambiente los electrodos y el gas; generalmente el tubo de descarga va protegido por medio de una ampolla interior. Los electrodos son metálicos y se sitúan en los extremos del tubo de descarga, aplicándoseles una diferencia de potencial necesaria para su funcionamiento. Para más detalles sobre el funcionamiento de estas lámparas y sobre los procedimientos de encendido se recomienda la lectura de Taboada (1983) y de De Francisco *et al* (1992).

Las características luminotécnicas más importantes de estas lámparas son las que se exponen a continuación.

- Lámparas de vapor de mercurio y alta presión

Su espectro de emisión se encuentra entre las bandas de colores violeta, azul, verde y amarillo (entre los 300 y 580 nm, principalmente), careciendo de muchas de las radiaciones del espectro visible, por lo que sus cualidades cromáticas no son muy buenas. Las más modernas, llamadas de color corregido consiguen mayor reproducción cromática, emitiendo un mayor número de radiaciones entre los 600 y 720 nm que las anteriores.

Su duración media se estima en 24.000 horas, pero debido a su depreciación, su supervivencia suele ser de unas 15.000 h. Las características de las lámparas de vapor de mercurio de alta presión se resumen en la tabla siguiente:

<b>Potencia (W)</b>	<b>Tensión mínima de arranque (V)</b>	<b>Flujo luminoso (lm)</b>	<b>Periodo de encendido (min.)</b>
50	180-200	2.000	5
80	180-200	3.800	3,5
125	180-200	6.300	1,5
250	180-200	13.500	4
400	180-200	23.000	4
700	180-200	42.000	4
1.000	180-200	60.000	4
2.000	320-340	125.000	4

Fuente: De Francisco *et al.* (1992)

- Lámparas de luz mezcla

Resultan de la composición de una lámpara incandescente y de una de mercurio corregida por un revestimiento fluorescente del tubo. Su duración es de unas 6 veces mayor que las de incandescencia.

Con ellas se consigue un efecto visual más agradable que con las anteriores de vapor de mercurio, ya que su espectro de emisión tiene un mayor porcentaje de radiaciones comprendidas entre los 550 y los 750 nm. Las características de este tipo de lámparas son:

Potencia (W)	Voltaje mínimo (V)	Flujo luminoso (lm) (tensión nominal: 220-230 V)
160	180	3.000
250	190	5.700
500	180	14.000

Fuente: De Francisco *et al.* (1992)

▪ Lámparas de vapor de mercurio con halogenuros

La adición de halogenuros metálicos a las lámparas de vapor de mercurio modifica el espectro de emisión original, obteniéndose un mejor rendimiento de color. Su vida varía entre 2.000 y 8.000 h.

Las características eléctricas y luminotécnicas son muy variadas, aunque se señalan algunos valores orientativos (De Francisco *et al.*, 1992).

– Aditivos de sodio, talio e indio:

Eficacia: 95 lm/W (tipos de gran potencia).

Rendimiento en color: aproximadamente 4.200 k.

Temperatura de color: aproximadamente 4.200 K.

– Aditivos de disprosio, indio y talio:

Eficacia: 85 lm/W.

Rendimiento en color: aproximadamente 90.

Temperatura de color: aproximadamente 5.000 K.

– Aditivos de estaño:

Eficacia: 45 lm/W (tipo 400 W).

Rendimiento en color: aproximadamente 90.

Temperatura de color: aproximadamente 4.500 K.

**Apariencia de color:** la apariencia de color de una fuente de luz no está necesariamente relacionada con el rendimiento cromático. Para las lámparas, la apariencia de color puede valorarse a partir del concepto

de “Temperatura de Color Correlacionada” (TCC), que es la temperatura del cuerpo negro que emite una radiación cuyo color es el mismo que el de la radiación de la lámpara considerada. Se expresa en grados kelvin (K).

- Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Son lámparas cuyo espectro de emisión es prácticamente monocromático, entorno a los 589 nm, por lo que su uso es muy limitado.

Su eficacia es de 180 lm/W (alta), siendo de larga vida. Las características de estas lámparas se recogen en la tabla siguiente:

<b>Potencia (W)</b>	<b>Tensión mínima de arranque (V)</b>	<b>Flujo luminoso (lm)</b>	<b>Periodo de encendido (min.)</b>
35	390	4.800	7
55	410	8.000	7
90	420	13.500	9
135	540	22.500	10
180	600	33.000	12

Fuente: De Francisco *et al.* (1992)

- Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Su rendimiento de color es mucho mayor que el de las de baja presión. Su espectro de emisión se encuentra entre los 350 nm y los 750 nm. Su gama de fabricación es variada. Se fabrican en forma tubular y ovoide, con un rendimiento medio de unos 130 lm/W, fabricándose en las potencias de 150, 250, 400 y 1.000 W.

- Tubos fluorescentes

En este caso el gas es vapor de mercurio a baja presión. Lo que se busca en estas lámparas es que su espectro en la zona visible sea lo más continuo posible, lo que se logra gracias a la propiedad que presentan las materias fluorescentes de transformar las longitudes de onda que sobre ellas inciden. Para ello se necesita una fuente de radiación que emita en la región del ultravioleta y materias fluorescentes capaces de transformar

la radiación UV en otras que permitan cubrir todo el espectro visible. Las características de las lámparas que actualmente se comercializan se resumen a continuación.

<b>Tonalidad</b>	<b>Rto. Luminoso (lm/W)</b>	<b>Rto. Cromático (lm/W)</b>	<b>Temperatura de color (K)</b>
Blanco cálido	77	52	3.000
Blanco cálido de lujo	49	87	3.000
Blanco cálido especial lujo	44	95	2.700
Blanco normal	80	66	4.200
Blanco lujo	51	87	3.800
Luz día	65	77	6.500
Luz día lujo	51	92	6.500

Fuente: De Francisco *et al.* (1992)

### **3.1.4. Necesidad de automatización de las técnicas utilizadas**

Haremos un breve comentario al respecto, ya que los aspectos concretos serán tratados en cada uno de los elementos que se suelen automatizar, como por ejemplo el desplazamiento de pantallas térmicas, la ventilación del invernadero, la calefacción, la fertirrigación, etc.

### **3.1.5. Efectos fisiológicos. La fotosíntesis**

Fundamento: la clorofila es el principal pigmento fotosintético; es de color verde porque absorbe principalmente los rayos de la luz de las bandas azul y roja, mientras que los rayos verdes son transmitidos o reflejados. La energía luminosa absorbida se transforma en energía química, la cual puede ser almacenada y utilizada más tarde. La clorofila en las plantas superiores se encuentra en los grana de los cloroplastos. Proteínas, fosfolípidos, carotenoides y agua de hidratación están íntimamente asociados con la clorofila de los grana. Estos se encuentran embebidos en un complejo llamado estroma y en él se producen las reacciones esenciales que no requieren luz. Los pasos esenciales de este proceso son (Westwood, 1982):

1. La energía de la luz es interceptada por los cloroplastos.
2. Esta energía es utilizada para separar el agua en H y O.
3. El H se une a las moléculas de NAD y parte de la energía generada se utiliza para formar moléculas de ATP.
4. El NADH<sub>2</sub> y ATP actúan sobre el CO<sub>2</sub> para formar hidratos de carbono.

NAD: Nicotinamida adenin dinucleotido (forma oxidada).

ATP: Adenosin trifosfato.

NADH2: Forma reducida del NAD.

Se recomienda la lectura de Westwood (1982), páginas de 31 a 38.

### **3.1.6. Consecuencias agronómicas**

Las técnicas citadas en los apartados anteriores persiguen:

1. Evitar el exceso de luz en los meses de verano, reduciendo la temperatura en el invernadero.
2. La reducción de la temperatura en los meses en que se produce un exceso nos permite obtener un aumento de la fotosíntesis neta, al situarse las temperaturas dentro del óptimo requerido por la planta.
3. La abundancia de luz, sin llegar al exceso, presenta efectos positivos como:
  - Favorecer la floración y fructificación.
  - Intensifica una mayor producción de pigmentos, en general.
  - Incrementa la actividad fotosintética.
  - Intensifica el olor y el sabor.
  - Favorece la lignificación.
  - Aumenta la resistencia de las plantas al ataque de plagas y enfermedades.
4. El déficit de luz puede presentar algunos efectos negativos, aunque en ocasiones puede ser provocado para provocar la floración de algunas plantas, como son:
  - Menor producción de hidratos de carbono, y de pigmentos (carotenos, xantofilas, etc.)
  - Favorece el crecimiento y elongación de tallos (ahilamiento).
  - Aumenta la sensibilidad a plagas y enfermedades.
5. El déficit de luz no sólo depende de la época del año o de las medidas que se adopten para evitarlo (como la colocación de pantallas reflectantes en el suelo o la iluminación artificial), sino que en ocasiones puede estar provocado por la elección de un marco de plantación excesivamente denso; en este caso el problema puede resolverse eligiendo un marco adecuado.
6. La iluminación artificial no suele ser un método rentable para aumentar la productividad de las plantaciones, aunque suele ser utilizada con fines de investigación.

La elección de la variedad que mejor se adapte a las condiciones naturales de la zona y la adopción de medidas que permiten aumentar o reducir la iluminación, junto al resto de factores que intervienen en la producción (fertirrigación, tratamientos, etc.) permitirán obtener un resultado óptimo tanto de calidad como de productividad, lo que nos conducirá a la obtención de la máxima rentabilidad.

#### **4. PROYECTO DE ALUMBRADO DE UN INVERNADERO PARA PRODUCCIÓN DE CRISANTEMOS**

##### **4.1. BASES FITOTÉCNICAS DE LA PRODUCCIÓN DE CRISANTEMOS**

El crisantemo (*Chrysanthemum x hortorum*) pertenece a la familia de las compuestas, se cultiva tanto en maceta como para flor cortada, siendo muy importante en toda Europa; de este cruce se han obtenido diferentes variedades cultivadas. Es originaria de China, y procede de las especies *C. indicum*, y *C. Morfolium*

Cuando su cultivo se realiza de modo tradicional la floración se produce durante los meses de octubre y noviembre, aunque ésta es una planta de día corto en la que la floración puede provocarse y programarse a lo largo del año variando el fotoperiodo. Este aspecto resulta de gran interés en esta planta en España, ya que como es sabido se utiliza de manera muy especial para llevar a los cementerios el día de Todos los Santos, adquiriendo entonces grandes cotizaciones como flor cortada.

Dado que este tema está orientado fundamentalmente al estudio del efecto de la iluminación y del diseño de la instalación y su manejo, obviaremos algunas características botánicas y agronómicas de este cultivo por considerar que ha sido o será estudiado con mayor profundidad, en los aspectos citados, en las asignaturas de Floricultura y de Producción de plantas ornamentales. En todo caso, considerando la evolución tan importante del sector de flores cortadas y las aportaciones que la mejora vegetal realiza en las distintas especies cultivadas, se recomienda que en el momento de tener que tomar una decisión sobre la plantación de distintas variedades, se realice una revisión de la oferta existente en el mercado en ese momento, pues en la actualidad

existen más de 150 variedades, aunque sólo unas pocas copan la mayor parte del mercado. Asimismo, en los catálogos comerciales podrá encontrarse información concreta de las características y requerimientos de la variedad elegida.

### **Clasificación botánica:**

Rama:	Fanerógamas
Subrama:	Angiospermas
Clase:	Dicotiledóneas
Orden:	Campanulaceas
Familia:	Asteráceas
Tribu:	Antemidáceas
Subtribu:	Crisanthemidáceas
Género:	Chrysanthemum

Los datos sobre la superficie cultivada para flor cortada dan una clara idea de su importancia económica; así Vidalie (1992), indica la superficie cultivada en algunos países como Francia (> 100 ha), Holanda (>600 ha), Alemania (400 ha), Inglaterra (200 has), Colombia (600 ha).

### **Variedades**

Las variedades se clasifican comercial y prácticamente del siguiente modo: *Variedades para flor cortada, variedades de cultivo en maceta, variedades rústicas y crisantemos cascada* (se recomienda la lectura de las páginas 15-17 y 27-40 de Arbós (1992)).

Entre las variedades para flor cortada se citan como importantes las siguientes (Vidalie, 1992), indicando que para este fin sólo se utilizan los cultivares con flor pequeña o media, como son:

- Accent (flore simples; rojo-malva).
- Dark chamerte (flores simples; rosa-malva con corazón verde).
- Horim (flores simples; blanco con tintes amarillos).
- Morning sun (flores simples; amarillo fuerte).
- Refour (flor semidoble; blanco).
- Super White y Super Yellow (tipo araña; amarillo y blanco con gran capítulo).



## Condiciones para programar la floración

Los crisantemos son plantas *de día corto*, ya que muchas variedades florecen al alargarse las noches. El punto crítico se sitúa entre las 13 y 14'5 horas de luz, de modo que cuando el número de horas de luz es inferior se produce la floración. Por otro lado, existen diferencias entre variedades tempranas (forman flores con menos oscuridad) y tardías (necesitan más horas de oscuridad para florecer). Con más de 15 horas diarias de luz las plantas continúan desarrollándose sin florecer (Arbós, 1992).

Para provocar la floración en días largos (mayo a julio), se han de provocar días cortos de forma artificial. Para ello se utilizan mallas negras que reducen considerablemente la iluminación que recibe el cultivo durante el día, manteniendo el oscurecimiento hasta que se colorean las yemas florales. La “noche artificial” se practica desde las 8 de la mañana (14 horas de noche y 10 de luz).

Para retardar la floración en días cortos (agosto a abril) se han de provocar días largos de forma artificial, iluminando con luz artificial las plantas, aplicando una intensidad lumínica de unos 75-100 luxes. Las luminarias se disponen a unos 2-3 m por encima del suelo, aplicando la iluminación artificial hasta que las plantas tienen 30-40 cm de altura. El “día artificial” se practica desde la caída de la noche, iluminando desde 1 hora a partir del 15 de agosto hasta 5 horas en diciembre-enero y una hora en marzo.

Para reducir los costes de contratos eléctricos y la sección de los conductores se puede recurrir a la iluminación de la plantación por sectores, alternando un periodo de iluminación (por ej. 10 min.) con un periodo de oscuridad (por ej. 40 min.). De este modo es posible programar la floración para una fecha determinada, conociendo la evolución del cultivo en las condiciones establecidas.

En España (Arbós, 1992) los días de 14'5 horas de luz llegan durante la semana 33 y los de 13'5 horas llegan una semana más tarde; lo contrario sucede en primavera, los días de 14'5 horas de luz llegan durante la semana 16 y si el botón floral no tiene color en ese momento, el día debe recortarse artificialmente con el fin de obligar a la planta a florecer. Si se plantan los crisantemos en invierno, o sea, entre las semanas 34 y

16, el esqueje forma el botón floral en 3 ó 4 días y la planta florecerá en 8-10 semanas, provocando la formación de tallos demasiado cortos, debiéndose alargar el día artificialmente. Asimismo, en este cultivo, el día largo debe hacerse acortando la noche, de modo que la planta “no duerma” más de 7 horas seguidas; hace más de 50 años se demostró que el efecto de alargar el día a más de 14’5 horas no es tan práctico como el de acortar la noche; en este sentido el crisantemo es una planta de “noche larga” y no de “día corto”. Por ello en agosto se acostumbra a dar una hora de luz artificial, alrededor de las 12 de la noche, en septiembre se aplicarán dos horas, que pueden llegar a ser cuatro en diciembre, y el tiempo de aplicación de la técnica dependerá de la altura que alcance la planta, o de si se desea adelantar o atrasar la floración. Como norma general, se aplica luz hasta que las plantas alcanzan una altura media de 25-30 cm, para que al final del cultivo florezcan con un tallo de 70-90 cm. La citada autora indica que lo normal es comenzar a iluminar a las 22 horas y acabar a las 2 horas, e indica asimismo que una intensidad de luz demasiado alta producirá un retraso en la floración, con el consiguiente alargamiento de los “cuellos” de las flores y por tanto una disminución de la calidad del producto. Otro método apuntado es el uso de la iluminación cíclica, utilizando la iluminación en distintos lugares, como por ejemplo ¼ h de luz y otro de oscuridad, o bien 2’ de luz y 8’ de oscuridad, 3’ de luz y 12’ de oscuridad, 15’ de luz y 45’ de oscuridad, etc., no siendo conveniente superar los 45 minutos de oscuridad entre intervalos.

## **Multiplicación**

Por esquejes, obtenidos con garantía sanitaria.

## **Cultivo**

En invernadero:

- Plantación de esquejes en eras con mallas metálicas o plásticas de entutorado, de 1 m de ancho y luz de malla 12’5 x 12’5 cm. Estas mallas se van levantando a medida que crecen las plantas.
- Densidad máxima en las eras: 64 plantas /m<sup>2</sup> en verano y 48 plantas/m<sup>2</sup> en invierno.
- Plantaciones en cultivo sin suelo (lana de roca, perlita, etc.) y en cultivo hidropónico (puro y en NTF).

- Temperatura: constante, de 16 a 18°C, aunque algunos cultivares son menos exigentes pudiendo llegar hasta los 11°C. A la mayoría de las variedades el exceso de temperatura les retrasa la floración.
- Humedad relativa: se recomienda que esté entre 65 y 75%, para que las plantas se desarrollen en perfectas condiciones, y cuando las flores comienzan a tomar color conviene que sea inferior para reducir los ataques de hongos; como humedad y temperatura están muy relacionadas, habrá que establecer los sistemas que permitan su regulación.
- Suelos: Labrar, fresar y realizar aportes de unos 3 kg de turba/m<sup>2</sup>. PH = 6'5 – 7. La raíz sólo profundiza unos 20 cm en el suelo.
- Fertilización: Vidalie (1992), indica que las exportaciones, en g/m<sup>2</sup> para 60 plantas/m<sup>2</sup> en el cv White Spider, se cifran en N. 45'2, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 6'77 y K<sub>2</sub>O: 62'6.
- Fertilización carbónica: Aportes de CO<sub>2</sub> a 1.000-1.500 ppm origina una floración uniforme, tallos rígidos, flores más coloreadas y floración más precoz (-10 días).
- Pinzamientos: Salvo excepciones, no suelen realizarse.
- Conducción del fotoperiodo: Los viveristas ofrecen las condiciones en que se deben conducir los distintos cultivares para obtener flores en épocas determinadas.
- Recolección de flores: Arrancar la planta cuando el 50% de las flores estén abriéndose, es decir, 3-5 flores/plantas.
- Conservación frigorífica: En agua, a 4-6°C y 70% de HR.
- Plagas y enfermedades: Se citan las siguientes como más frecuentes: ácaros, pulgones, Botrytis cinerea y Roya blanca.

#### 4.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y NECESIDADES DE ILUMINACIÓN

Supongamos que deseamos iluminar un invernadero multitúnel de 3 túneles, cuyas características son:

- Longitud de cada túnel: 30 m.
- Anchura de cada túnel: 10 m.
- Altura de los tirantes de las cerchas. 4'5 m.
- Superficie total de invernadero: 3 túneles x 30 m x 10 m = 900 m<sup>2</sup>.

El invernadero dispone de una zona de recepción de 20 m<sup>2</sup> y otra de propagación de 50 m<sup>2</sup>, por lo que la superficie dedicada al cultivo es de 830 m<sup>2</sup>.

La intensidad lumínica proyectada tanto en la zona de propagación como en la zona de cultivo de crisantemos es de 100 luxes.

El tipo de luminarias elegidas para la iluminación está constituido por pantallas fluorescentes de 2x36 W, estancas, de luz blanco industrial y con un flujo luminoso de 3.200 lúmenes por cada tubo de 36 W. Las luminarias estarán dotadas de conductor de tierra.

Las luminarias se instalarán bajo las cerchas y la altura del plano de trabajo es de 3'8 (4'5 m de altura de las luminarias – 0'7 m de altura de las plantas = 3'8 m). Se establecen 4 zonas de iluminación, lo que permitirá reducir el tamaño de los conductores, iluminar el invernadero por sectores de trabajo, e incluso, si se desea reducir la potencia instalada se podrá hacer una iluminación cíclica de las distintas zonas de cultivo.

Se prevé la instalación de alumbrado de emergencia, aunque éste no es normal en los invernaderos. Sin embargo, considerando que se trata de un local de trabajo, el R.E.B.T. obliga a su instalación.

Finalmente, cuando en clase se realice el cálculo informatizado, se realizarán ejemplos de cálculo de líneas de enchufes y de otros servicios como motores de apertura de la ventilación del invernadero, alimentación de resistencias para camas calientes, etc.

### 4.3. BASES DE CÁLCULO

Antes de proceder a realizar los cálculos, recordemos las fórmulas y conceptos fundamentales, que ya han sido estudiados en otras asignaturas de la carrera.

## Fórmulas:

### Sistema Trifásico:

$$I = P_c / 1,732 \times U \times \cos\phi \times R = \text{amp (A)}$$

$$e = (L \times P_c / K \times U \times n \times S \times R) + (L \times P_c \times X_u \times \text{Sen}\phi / 1000 \times U \times n \times R \times \cos\phi) \\ = \text{voltios (V)}$$

### Sistema Monofásico:

$$I = P_c / U \times \cos\phi \times R = \text{amp (A)}$$

$$E = (2 \times L \times P_c / K \times U \times n \times S \times R) + (2 \times L \times P_c \times X_u \times \text{Sen}\phi / 1000 \times U \times n \times R \times \cos\phi) = \text{voltios (V)}$$

### En donde:

P<sub>c</sub> = Potencia de cálculo en vatios.

L = Longitud de cálculo en metros.

e = Caída de tensión en Voltios.

K = Conductividad. Cobre 56. Aluminio 35.

I = Intensidad en Amperios.

U = Tensión de Servicio en Voltios (Trifásica o Monofásica).

S = Sección del conductor en mm<sup>2</sup>.

Cos = Coseno de φ (factor de potencia).

R = Rendimiento (Para líneas de motor).

N = N° de conductores por fase.

X<sub>u</sub> = Reactancia por unidad de longitud en M /m.

Neutro: Es un conductor que resulta de unir puntos homólogos de las fases, conectadas en estrella, en el secundario del transformador, lo que da la posibilidad de transportar siempre dos tensiones, la tensión de fase y la tensión compuesta, según se obtenga la diferencia de potencial entre fase y neutro o entre fase y fase, siendo además la relación entre ambas  $\sqrt{3}$ . Así, cuando el suministro es monofásico es obligado instalar el conductor neutro (siempre que exista una línea de 4 hilos. 3F+N, trifásica 380V/trifásica-220 V). Normalmente la tensión en la distribución trifásica es de 380 V, por lo que una línea fase-neutro será monofásica de 220 V; mientras que si la tensión es de 220 V, entonces entre fase-neutro obtendremos 125 V. En un suministro trifásico,

cuando una línea concreta no necesite abastecer aguas abajo a ningún receptor monofásico, no será necesario transportar el conductor neutro.

Factor de potencia (Cosφ): Representa el grado de aprovechamiento de la energía en energía útil. Varía entre 0 y 1. Cuando vale 1 significa que se aprovecha el 100% de la energía; cuando vale 0'8 significa que sólo el 80% de la energía se aprovecha como útil, mientras que el 20% se utiliza en la creación de campos magnéticos en motores, en transformadores, etc., siendo conocida con el nombre de energía reactiva, energía que no es útil, pero sin embargo es necesaria en multitud de receptores para que puedan funcionar. En líneas de fuerza-motriz suele valer 0'8, mientras que en líneas de alumbrado suele valer 1.

Reactancia: Una línea o conductor eléctrico se representa por una resistencia y una reactancia en serie, por lo que ambas influyen en la caída de tensión que se produce en la línea, limitando su capacidad de transporte de energía útil o aprovechable, lo que se aprecia en las fórmulas primitivas de la caída de tensión.

- Sistema monofásico:  $e = 2 I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$
- Sistema trifásico:  $e = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$

Siendo:

E = Caída de tensión en la línea.

I = Intensidad que pasa por la línea.

R = Resistencia del conductor = L/KS.

X = Reactancia del conductor = WL.

Cos φ = Factor de potencia.

En instalaciones eléctricas en B.T., con conductores aislados, el valor de la reactancia suele ser de 0'08 mohm/m, por lo que este valor afecta muy poco al cálculo de la caída de tensión, soliendo desprejarse. Su cálculo está indicado en líneas de longitud considerable, como suele ocurrir en las de transporte y distribución de energía (alta y media tensión), aunque si se desea se puede calcular también en las de B.T.

Coeficiente de mayoración en tubos de descarga: Este coeficiente está normalizado por la reglamentación vigente, y no debe ser modificado a no ser que se conozca la potencia total consumida por dichos tubos, computando la potencia nominal de la lámpara y la real consumida en sus elementos asociados (cebador, reactancia, condensador, etc.). En general se utiliza un coeficiente de mayoración de 1'8 y  $\text{Cos } \varphi = 1$ :

Conductor de protección o “tierra”: Sirve para unir eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos, con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos. En el circuito de puesta a tierra los conductores de protección unirán las masas a la línea principal de tierra. El conductor de tierra será  $S_f/2$ , en función de los conductores de fases o polares, basándose en la Instrucción MIBT 017, aptdo. 2.2. de la tabla V. Todos los cuadros de protección deberán disponer de borna de puesta a tierra.

Caída de tensión máxima admisible: 3% en líneas de alumbrado y 5% en líneas de fuerza.

Protección térmica: Todo circuito deberá estar protegido contra los efectos de las sobrecargas (sobrecargas y cortocircuitos) que puedan presentarse en el mismo, para lo cual la interrupción de este circuito se realizará en un tiempo conveniente o estará sobredimensionado para las intensidades previsibles. En cabeza de todo circuito deberá existir un interruptor automático, como elemento más usual, o unos fusibles.

Protección diferencial. Siempre se debe instalar una protección diferencial contra contactos indirectos, siendo el sistema de protección de clase B “puesta a tierra de las masas y dispositivo de corte por intensidad de defecto” el más utilizado (utilización de conductores de protección para la puesta a tierra de las masas y empleo de interruptores diferenciales para el corte de la intensidad de defecto). Este sistema impide la permanencia de una tensión de contacto demasiado elevada en una pieza conductora (masa) que no forma parte del circuito activo, desconectando la instalación defectuosa. Este sistema se debe cumplir las siguientes condiciones:

- La corriente producida por un solo defecto francos (impedancia nula), debe hacer actuar el dispositivo de corte en un tiempo no superior a 5 segundos.

- Una masa cualquiera no puede permanecer en relación a una toma de tierra eléctricamente distinta, a un potencial superior, en valor eficaz a.
  - 24 V en locales mojados o húmedos.
  - 50 V en los demás casos.

Siempre se ha de cumplir que:

$$U_c = R_t (\text{ohmios}) I_s (\text{Amperios}) < 24 \text{ V en locales húmedos o mojados.}$$

$$U_c = R_t (\text{ohmios}) I_s (\text{Amperios}) < 50 \text{ V en los demás casos.}$$

Siendo:

$$U_c = \text{Tensión de contacto.}$$

$$R_t = \text{Resistencia a tierra}$$

$$I_s = \text{Sensibilidad del aparato diferencia.}$$

- Todas las masas de una misma instalación deben estar unidas a la misma toma de tierra.

La potencia de cálculo en líneas de alumbrado en la que existan además de lámpara de descarga otras de incandescencias se calculará del siguiente modo:

$$P_{ca} = P_{ld} \times 1,8 + P_{li}$$

Siendo:  $P_{ca}$  = potencia de cálculo de alumbrado;  $P_{ld}$  = potencia de las lámparas de descarga;  $P_{li}$  = potencia de las lámparas de incandescencia.

Si en la instalación existen motores, los conductores que los alimentan deben estar sobredimensionados en un 125% de la intensidad de plena carga del motor en cuestión (MIBT 034 apdo. 1). La potencia de cálculo considerada en motores será.

$$P_{cm} = 1,25 P_{mp} + P_{rm}$$

Donde:

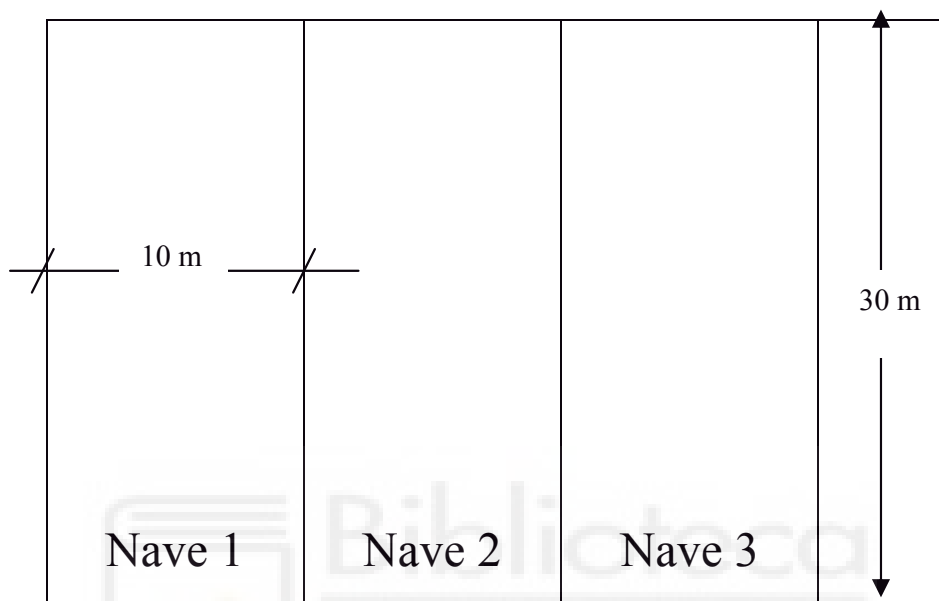
$P_{cm}$  = potencia de cálculo de la línea que alimenta a los motores;  $P_{mp}$  = potencia activa del motor principal (mayor);  $P_{rm}$  = potencia activa del resto de motores que alimenta.

En caso de motores de elevación como ascensores, grúas, cintas transportadoras, etc., el coeficiente de mayoración será 1,3 en lugar de 1,25.



Una vez repasados los conceptos fundamentales, se recomienda recurrir a los temas específicos de electrotécnica para terminar de recordar estos y otros conceptos necesarios.

#### 4.4. PLANOS Y COTAS DE SUPERFICIE DEL INVERNADERO



	$10 \times 2 = 20 \text{m}^2$	$10 \times 5 = 50 \text{m}^2$
$10 \times 30 = 300 \text{m}^2$	$10 \times 8 = 280 \text{m}^2$	$10 \times 25 = 250 \text{m}^2$

Superficies:

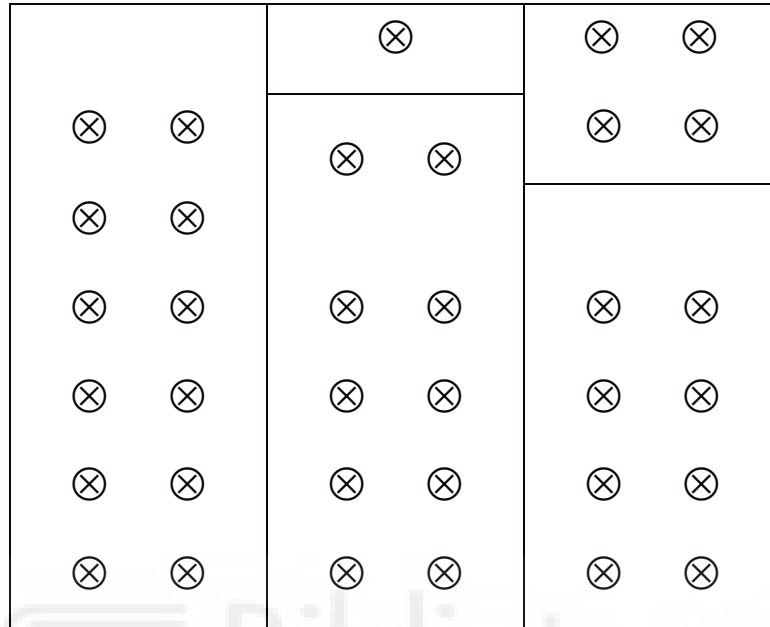
Nave 1:  $300 \text{m}^2$ , dedicados a cultivo.

Nave 2:  $20 \text{m}^2$  en recepción +  $280 \text{m}^2$  dedicados a cultivo.

Nave 3.  $50 \text{m}^2$  en zona de multiplicación +  $250 \text{m}^2$  dedicados a cultivo.

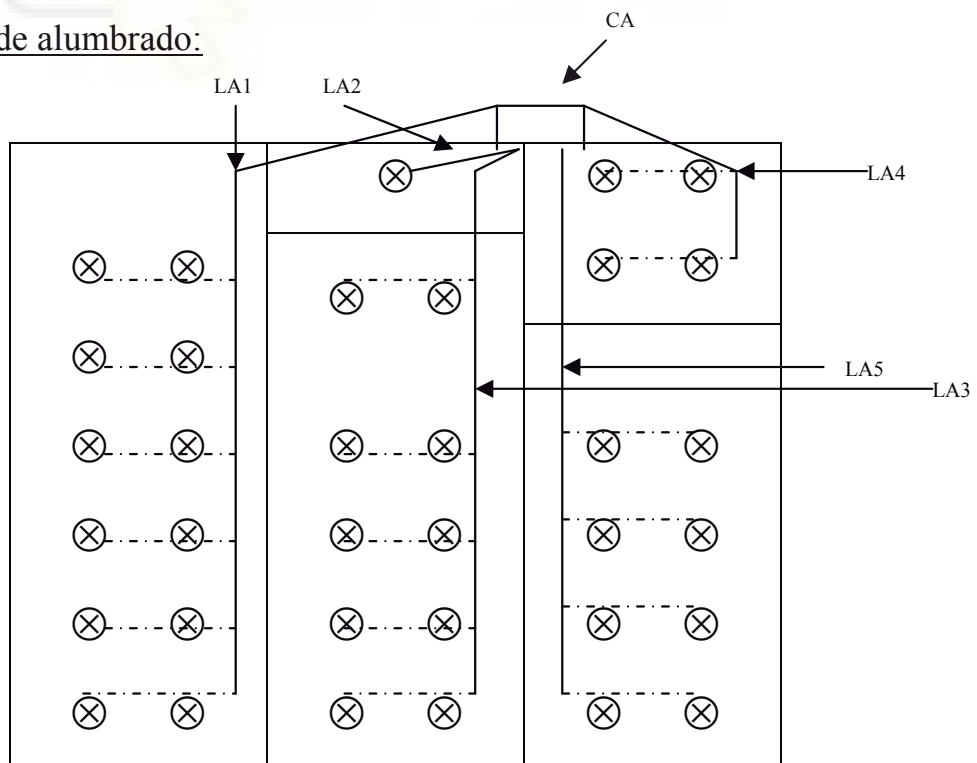
#### 4.5. PLANO DE PLANTA DE LUMINARIAS Y DE LÍNEAS Y CUADRO DE ALUMBRADO

##### Distribución de luminarias:



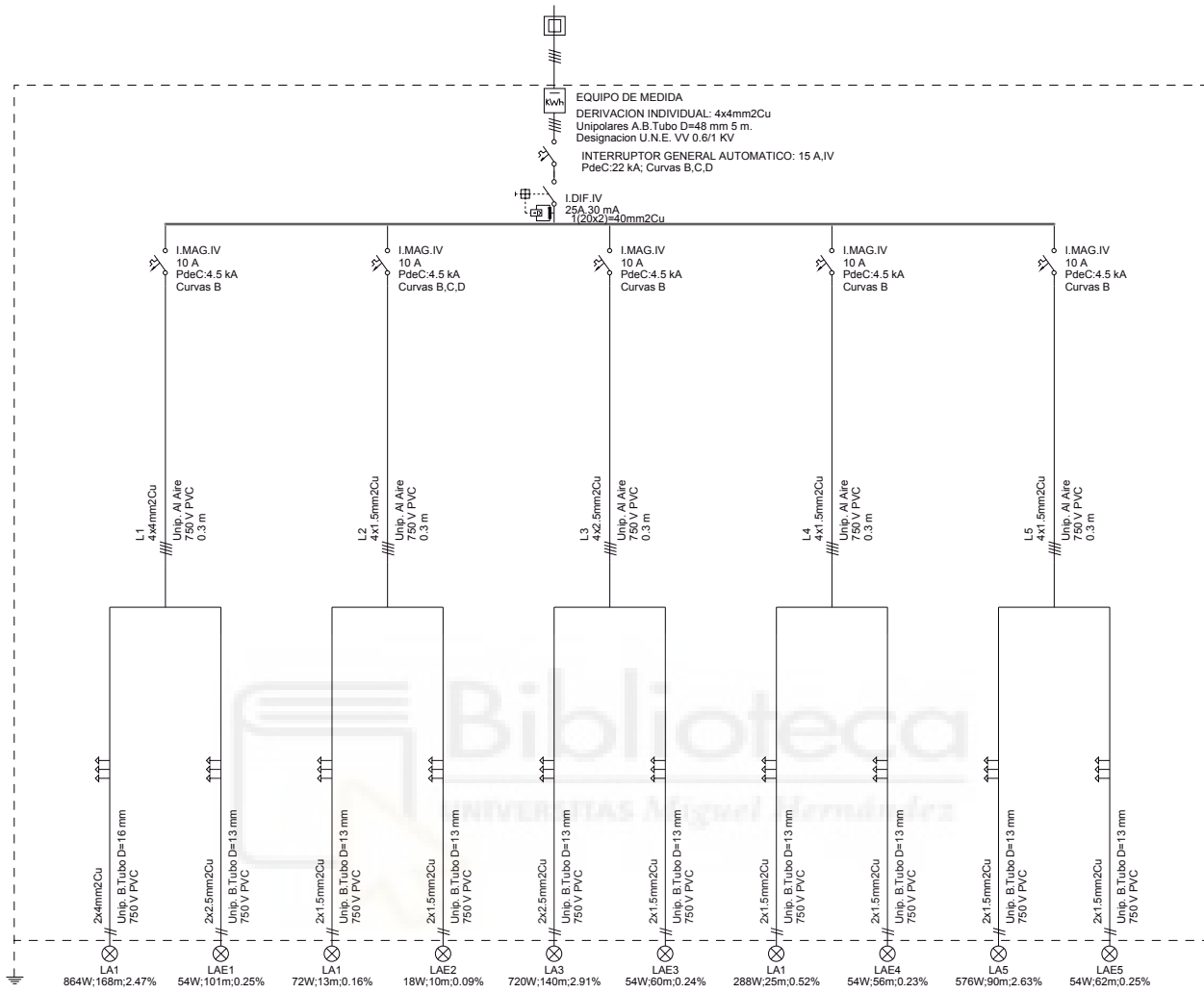
Luminarias de 2 x 36 W, a 5x5 m en las zonas de cultivo.

##### Líneas y cuadro de alumbrado:



Nota: Para simplificar el dibujo, las líneas de alumbrado de emergencia se reflejan en el esquema unifilar.

## 4.6. ESQUEMA UNIFILAR.



## 4.7. RESULTADOS DE CÁLCULO

### 4.7.1. Cálculo de la iluminación

#### 4.7.1.1. Introducción

El diseño de la instalación de alumbrado está basado en la evaluación de las necesidades mínimas de iluminación, cifrando éstas en función del local y de la actividad a realizar en el mismo. Para ello se tendrá en cuenta el “manual de luminotécnica” OSRAM y lo dispuesto en la Orden del Ministerio de Trabajo de 9 de Marzo de 1971, Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo y Disposiciones Complementarias, así como el R.E.B.T.

De entre los diferentes sistemas de alumbrado se ha seleccionado el sistema directo.

#### 4.7.1.2. Intensidad lumínica.

El cálculo de la iluminación se ha efectuado considerando las intensidades lumínicas necesaria para cada una de las dependencias, siguiendo lo estipulado para este tipo de establecimiento en las reglamentaciones técnico-sanitarias española y comunitaria. La iluminación mínima a instalar es la siguiente:

- Zona de cultivo: 75-100 luxes.
- Zona de propagación: 75-100 luxes.

Para la condensación de esta iluminación deben tenerse en cuenta que la distancia entre los puntos de luz debe ser inferior a 1'5 m por la altura de montaje, las luminarias elegidas están construidas por 1 ó 2 tubos fluorescentes de 58 W, blanco industrial, con un flujo luminoso cada uno de  $\Phi_L = 4.800$  lm ó 1 ó 2 tubos fluorescentes de 36 W, blanco industrial con un flujo luminoso de  $\Phi_L = 3.200$  lm, o de 1 ó 2 tubos fluorescentes de 18 W, blanco industrial, con flujo luminoso de  $\Phi_L = 1.150$  lm.

Las pantallas utilizadas serán industriales, estancas (para local mojado) y en ellas se instalarán los condensadores apropiados para elevar su factor de potencia. En

otros casos las luminarias elegidas están constituidas por lámparas de incandescencia de 40 a 200 vatios con un flujo luminoso de 10 lm/watio.

En el plano correspondiente puede verse el número de luminarias, así como su distribución.

Solución adoptada: En este caso, se instalarán luminarias estancas de 2 x 36 W para el alumbrado general.

#### 4.7.1.3. Alumbrado de emergencia y señalización

Teniendo en cuenta la legislación en vigor se proyecta el alumbrado de emergencia considerando una intensidad lumínica mínima de 5 lux. La autonomía de los equipos de emergencia será como mínimo de una hora. El flujo luminoso de los equipos elegidos son de 60, 120, 240, 300, 1.000 y 3.000 lm. Su distribución puede verse en el plano correspondiente.

Solución adoptada: Se instalarán luminarias estancas de 18 W en cada una de las zonas indicadas en el esquema unifilar.

#### 4.7.1.4. Procedimiento de cálculo

En invernaderos se suele utilizar la irradiación en  $\text{mW/m}^2$ , pero en realidad es igual que utilizar unidades de flujo luminoso (lúmenes), pues se puede utilizar un factor de conversión de vatios a lúmenes. En este caso utilizaremos como dato de partida las necesidades de iluminación deseada (E) en luxes ( $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$ ).

Índice del local:

$K = (l \times a) / h (l + A)$ , para luminarias desde A1 a la C4, de la Tabla 5.

$K = (l \times a) / 2 \times h' (l + a)$ , para luminarias desde la D2 a la E3 de la Tabla 5.

l: longitud del local

a: anchura

h: altura de las luminarias sobre el plano de trabajo

Flujo luminoso total necesario ( $\Phi_T$ ) y Número de luminarias necesarias ( $N_L$ ):

$$\Phi_T = E_m \times S / \eta \times fc$$

$$N_L = \Phi_T / \Phi_L$$

$E_m$ : iluminación deseada

$S$ : superficie del recinto

$$\eta = \eta_R \times \eta_L$$

$\eta$  = Rto. De la iluminación;  $\eta_R$ . Rto. del local;  $\Phi_L$ : Rto de la luminaria.

$fc$ : factor de conservación de las luminarias

$\Phi_L$ . Flujo luminoso por luminaria (lm).

$\Phi_L$  depende de las dimensiones del local y de la reflexión del techo ( $\rho_1$ ), paredes ( $\rho_2$ ) y suelo ( $\rho_3$ ) y de la forma de distribución de la luz por la luminaria (curva fotométrica).

Altura de las luminarias sobre el plano de trabajo:

Altura mínima:  $h = 2 h'/3$

Altura aconsejable:  $h = 3h'/4$

Altura óptima:  $h = 4h'/5$

Si la iluminación es indirecta o semi-directa, no debe superarse el valor de la altura óptima.

Distancia entre luminarias ( $d$ ): Está en función de la altura  $h$  sobre el plano de trabajo.

Deberán tomarse las siguientes distancias,

Para luminarias con distribución intensiva:  $d \leq 1'2 h$

Para luminarias con distribución semi-intensiva o semi-extensiva:  $d \leq 1'5 h$

Para luminarias con distribución extensiva:  $d \leq 1'6 h$

La selección del tipo de luminaria con respecto a la altura del local se hace de la siguiente forma:

Altura del local	Tipo de luminaria
Hasta 4 m	Extensiva
De 4 a 6 m	Semi-extensiva
De 6 a 10 m	Semi-intensiva
Más de 10 m	Intensiva

### Datos de partida.

Cada nave tiene 30x10 m

$E_m = 100$  luxes

Tipo de luminarias: Fluorescente, blanco industrial de 36 W, con un flujo luminoso de 3.200 lm/tubo. Se pondrán de 2 a 36 W en cada luminaria =  $2 \times 3.200 \text{ lm} = 6.400 \text{ lm}$ .

Altura del plano de trabajo: 0'7 m.

Altura del local:  $H = 4'5 \text{ m}$ .

Altura sobre el plano de trabajo:  $h' = 4'5 - 0'7 = 3'8 \text{ m}$ .

Tipo de iluminación: Extensiva, por ser la altura del local  $< 4 \text{ m}$ .

Curvas de distribución simétrica de la intensidad luminosa según DIN 5040 (Figura 9): Directa (A) Intensiva (2), y dentro de ésta elegir el rendimiento del local en A2 (Tabla 5).

Las lámparas llevan reflector, por lo que la iluminación es directa.

### Cálculos:

#### Altura de las luminarias:

Altura mínima:  $h = 2 h' / 3 = (2 \times 3'8) / 3 = 2'5 \text{ m}$

Altura aconsejable:  $h = 3 h' / 4 = (3 \times 3'8) / 4 = 2'85 \text{ m}$

Altura óptima:  $h = 4 h' / 5 = (4 \times 3'8) / 5 = 3 \text{ m}$ .

Mantenemos la altura de las luminarias en 3'8 m, en el techo, para que no estorben.

### Índice del local:

$$K = (l \times a) / (l + a) = (30 \times 10) / (30 + 10) = 1'97$$

De la Tabla 4 obtenemos los valores de reflexión:

techo blanco:  $\rho_1: 0'5$

paredes blancas:  $\rho_2: 0'5$

suelo verde: (cubierto de plantas):  $\rho_3: 0'3$

Rendimiento del local según Tabla 4:

Para una luminaria tipo A2 y  $K=2$ , próximo a  $1'97$  (se puede interpolar entre  $1'5$  y  $2$ ), se obtiene el valor de  $\eta_R$ : Rto. del local, según los valores obtenidos de reflexión:  $\eta_R = 0'85$ .

Rendimiento de la luminaria: dato facilitado por el fabricante,  $\eta_L = 0'70$

Rendimiento de la iluminación:  $\eta = \eta_R \times \eta_L = 0'85 \times 0'70 = 0'595$ .

Factor de conservación:  $fc = 0'7$  (previendo una conservación aceptable).

Flujo luminoso total necesario:

$$\Phi_T = E_m \times S / \eta \times fc = (100 \times 300) / (0'595 \times 0'7) = 72.028'81 \text{ lm.}$$

Número de luminarias:

$$NL = \Phi_T / \Phi_T = 72.028'81 / (2 \times 3.200) = 11'25 \text{ luminarias de } 2 \times 36 \text{ W.}$$

Luego en esta nave pondremos 12 luminarias de  $2 \times 36 \text{ W}$ , con lo que se alcanzarán los 100 luxes previstos en el cálculo y se tendrá en cuenta la pérdida de rendimiento que se obtiene en los tubos fluorescentes, pérdida que puede superar el 30%, de modo que durante algunos años mantendremos el nivel lumínico dentro del rango marcado como necesario (entre 75-100 luxes).

Distribución de puntos de luz:

Para luminarias con distribución intensiva (Figura 9):  $d \leq 1'2 h$

Separación entre luminarias:  $5 \times 5 \text{ m}$ .

$d \leq 1'2 \times 3'8 = 4'56 \text{ m}$ , próximo a  $5 \text{ m}$ ; no obstante podríamos distribuir los tubos fluorescentes en luminarias de un solo tubo para cumplir con el requisito de "distancia entre luminarias  $\leq 1'2 \times h$ ", pero esta solución encarecería la instalación. Una vez analizada esta opción se puede probar otro tipo de lámpara y distribución si



deseamos un mayor ajuste. El cálculo realizado se repite para cada una de las dependencias.

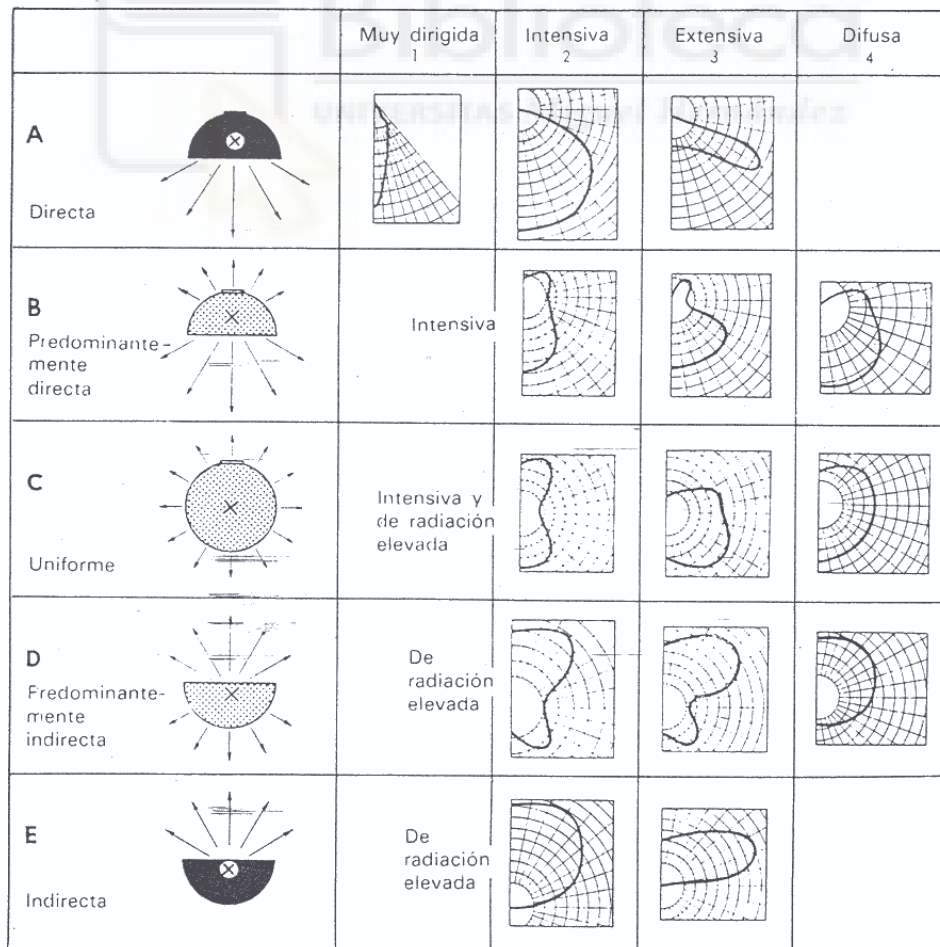
### TABLAS UTILIZADAS EN EL CÁLCULO ANTERIOR

**Tabla 4. Factores de reflexión de distintos colores y materiales para luz blanca**

Color	Factor de reflexión	Material	Factor de reflexión
Blanco	0,70-0,85	Mortero claro	0,35-0,55
Techo acústico blanco, según orificios	0,50-0,65	Mortero oscuro	0,20-0,30
Gris claro	0,40-0,50	Hormigón claro	0,30-0,50
Gris oscuro	0,10-0,20	Hormigón oscuro	0,15-0,25
Negro	0,03-0,07	Arenisca clara	0,30-0,40
Crema, amarillo claro	0,50-0,75	Arenisca oscura	0,15-0,25
Marrón claro	0,30-0,40	Ladrillo claro	0,30-0,40
Marrón oscuro	0,10-0,20	Ladrillo oscuro	0,15-0,25
Rosa	0,45-0,55	Mármol blanco	0,60-0,70
Rojo claro	0,30-0,50	Granito	0,15-0,25
Rojo oscuro	0,10-0,20	Madera clara	0,30-0,50
Verde claro	0,45-0,65	Madera oscura	0,10-0,25
Verde oscuro	0,10-0,20	Espejo de vidrio plateado	0,80-0,90
Azul claro	0,40-0,55	Aluminio mate	0,55-0,60
Azul oscuro	0,05-0,15	Aluminio anodizado y abrigantado	0,80-0,85
		Acero pulido	0,55-0,65

Fuente: Taboada (1983)

**Figura 9. Curvas de distribución simétrica de la intensidad lumínica según DIN 5040**



Fuente: Taboada (1983). Con luminarias para lámparas fluorescentes y similares, se toma como base la curva de valor medio de la respectiva luminaria.

**Tabla 5. Rendimientos del local**

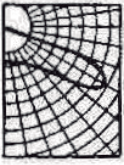
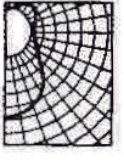
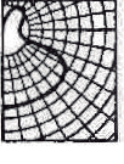


(Si las curvas de distribución no son simétricas, se toma la curva más apreciada en la tabla como valor medio)

Luminaria	Techo	Q <sub>1</sub>	0,8			0,5		0,3			0,5		0,3
	Pared	Q <sub>2</sub>	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
Suelo	Q <sub>3</sub>	0,3					0,1						
Índice del local		K											
A 1		0,6	0,60	0,55	0,54	0,60	0,55	0,61	0,56	0,78	0,69	0,56	0,68
		0,8	0,69	0,64	0,64	0,70	0,65	0,70	0,65	0,87	0,72	0,66	0,75
		1	0,75	0,70	0,70	0,76	0,71	0,77	0,71	0,93	0,79	0,72	0,80
		1,25	0,81	0,76	0,75	0,82	0,77	0,83	0,78	0,97	0,86	0,79	0,84
		1,5	0,84	0,79	0,79	0,86	0,81	0,87	0,82	0,99	0,90	0,83	0,87
		2	0,89	0,85	0,84	0,91	0,86	0,93	0,88	1,02	0,97	0,90	0,90
		2,5	0,92	0,88	0,87	0,94	0,90	0,97	0,92	1,04	1,02	0,96	0,93
3	0,94	0,91	0,90	0,97	0,93	1,00	0,95	1,05	1,06	1,00	0,95		
4	0,97	0,93	0,94	0,99	0,97	1,04	1,00	1,06	1,11	1,05	0,97		
5	0,99	0,96	0,95	1,00	0,98	1,06	1,02	1,06	1,14	1,09	0,98		
A 1.1		0,6	0,93	0,74	0,70	0,74	0,69	0,89	0,73	0,70	0,72	0,68	0,82
		0,8	1,01	0,82	0,77	0,81	0,76	0,94	0,78	0,77	0,80	0,76	0,93
		1	1,05	0,88	0,82	0,86	0,82	0,98	0,83	0,82	0,84	0,81	1,00
		1,25	1,10	0,93	0,88	0,91	0,87	1,01	0,90	0,86	0,88	0,85	1,06
		1,5	1,13	0,97	0,92	0,94	0,90	1,03	0,93	0,89	0,92	0,88	1,09
		2	1,17	1,03	0,97	0,99	0,95	1,05	0,97	0,93	0,95	0,92	1,14
		2,5	1,20	1,07	1,01	1,03	0,98	1,05	0,99	0,96	0,97	0,94	1,17
3	1,21	1,10	1,05	1,05	1,00	1,06	1,00	0,98	0,98	0,96	1,20		
4	1,24	1,15	1,10	1,08	1,03	1,06	1,02	1,00	1,00	0,98	1,23		
5	1,25	1,17	1,13	1,10	1,06	1,07	1,03	1,01	1,01	0,99	1,24		
A 1.2		0,6	0,72	0,48	0,42	0,47	0,42	0,68	0,47	0,41	0,47	0,41	0,40
		0,8	0,85	0,61	0,54	0,59	0,53	0,80	0,59	0,53	0,58	0,52	0,52
		1	0,94	0,69	0,62	0,67	0,61	0,87	0,67	0,61	0,65	0,60	0,59
		1,25	1,01	0,78	0,71	0,75	0,69	0,92	0,75	0,68	0,73	0,68	0,66
		1,5	1,05	0,83	0,75	0,80	0,74	0,96	0,80	0,73	0,77	0,72	0,71
		2	1,11	0,91	0,84	0,87	0,81	1,00	0,86	0,80	0,84	0,79	0,78
		2,5	1,15	0,97	0,90	0,92	0,87	1,02	0,91	0,85	0,88	0,83	0,82
3	1,18	1,02	0,96	0,96	0,91	1,04	0,94	0,89	0,91	0,87	0,86		
4	1,21	1,09	1,02	1,02	0,96	1,05	0,97	0,94	0,95	0,91	0,90		
5	1,23	1,12	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	0,97	0,94	0,92		
A 2		0,6	0,63	0,39	0,33	0,39	0,33	0,61	0,38	0,34	0,37	0,33	0,32
		0,8	0,78	0,53	0,45	0,51	0,45	0,74	0,51	0,45	0,50	0,45	0,44
		1	0,88	0,62	0,54	0,60	0,54	0,82	0,60	0,53	0,58	0,53	0,52
		1,25	0,95	0,71	0,63	0,68	0,62	0,88	0,68	0,62	0,66	0,60	0,60
		1,5	1,02	0,78	0,70	0,76	0,69	0,93	0,75	0,68	0,72	0,68	0,66
		2	1,10	0,89	0,81	0,85	0,78	0,98	0,83	0,77	0,80	0,77	0,74
		2,5	1,14	0,96	0,88	0,91	0,85	1,01	0,89	0,83	0,85	0,82	0,80
3	1,17	1,01	0,94	0,95	0,89	1,03	0,92	0,87	0,88	0,86	0,84		
4	1,21	1,07	1,01	1,00	0,95	1,04	0,96	0,92	0,93	0,90	0,89		
5	1,23	1,12	1,06	1,03	0,98	1,05	0,99	0,95	0,96	0,93	0,92		
A 2.1		0,6	0,61	0,36	0,29	0,35	0,29	0,58	0,33	0,29	0,35	0,29	0,28
		0,8	0,74	0,47	0,39	0,45	0,38	0,69	0,46	0,39	0,45	0,38	0,37
		1	0,82	0,55	0,46	0,52	0,45	0,77	0,53	0,45	0,51	0,44	0,45
		1,25	0,90	0,63	0,54	0,61	0,53	0,82	0,61	0,53	0,59	0,53	0,51
		1,5	0,95	0,69	0,60	0,66	0,59	0,87	0,67	0,59	0,64	0,57	0,56
		2	1,02	0,79	0,70	0,75	0,68	0,92	0,75	0,67	0,72	0,65	0,64
		2,5	1,08	0,87	0,78	0,81	0,74	0,96	0,81	0,73	0,77	0,72	0,70
3	1,13	0,93	0,84	0,86	0,79	0,99	0,85	0,78	0,81	0,76	0,75		
4	1,17	1,01	0,92	0,94	0,87	1,02	0,90	0,85	0,88	0,83	0,81		
5	1,18	1,04	0,96	0,95	0,90	1,02	0,93	0,87	0,89	0,85	0,83		

Fuente: Taboada (1983)

**Tabla 5. Rendimientos del local (continuación)**

(Si las curvas de distribución no son simétricas, se toma la curva más apreciada en la tabla como valor medio)

Luminaria	Techo	$Q_1$	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Pared	$Q_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Suelo	$Q_3$	0,3					0,1					
Indice del local		K											
A 3		0,6	0,51	0,23	0,17	0,24	0,16	0,48	0,23	0,18	0,22	0,16	0,16
		0,8	0,65	0,36	0,27	0,36	0,28	0,61	0,34	0,28	0,34	0,28	0,26
		1	0,76	0,47	0,36	0,45	0,37	0,70	0,44	0,37	0,42	0,36	0,35
		1,25	0,87	0,57	0,48	0,54	0,46	0,80	0,55	0,47	0,52	0,45	0,44
		1,5	0,95	0,66	0,56	0,62	0,55	0,86	0,64	0,55	0,60	0,53	0,52
		2	1,05	0,79	0,69	0,75	0,67	0,94	0,75	0,68	0,72	0,66	0,64
		2,5	1,11	0,88	0,79	0,83	0,76	0,99	0,82	0,76	0,79	0,74	0,72
		3	1,15	0,94	0,86	0,89	0,82	1,02	0,87	0,81	0,83	0,78	0,77
		4	1,20	1,03	0,95	0,95	0,89	1,04	0,93	0,88	0,89	0,85	0,84
5	1,23	1,09	1,01	1,00	0,94	1,05	0,96	0,92	0,92	0,88	0,88		
B 2		0,6	0,51	0,30	0,22	0,26	0,21	0,48	0,29	0,23	0,26	0,21	0,20
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,34	0,27	0,58	0,35	0,30	0,33	0,27	0,26
		1	0,70	0,43	0,35	0,39	0,32	0,64	0,41	0,35	0,38	0,31	0,30
		1,25	0,76	0,50	0,41	0,44	0,37	0,70	0,48	0,40	0,43	0,36	0,34
		1,5	0,82	0,56	0,47	0,48	0,42	0,74	0,54	0,45	0,47	0,40	0,37
		2	0,90	0,65	0,56	0,55	0,48	0,79	0,61	0,54	0,53	0,47	0,42
		2,5	0,95	0,72	0,62	0,60	0,53	0,83	0,67	0,60	0,57	0,51	0,46
		3	0,99	0,77	0,68	0,64	0,57	0,85	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50
		4	1,04	0,86	0,77	0,70	0,63	0,87	0,76	0,71	0,65	0,60	0,55
5	1,07	0,91	0,84	0,73	0,67	0,90	0,80	0,75	0,68	0,64	0,58		
B 3		0,6	0,53	0,27	0,22	0,27	0,21	0,51	0,27	0,22	0,26	0,21	0,20
		0,8	0,66	0,39	0,32	0,36	0,30	0,62	0,38	0,31	0,35	0,29	0,28
		1	0,75	0,47	0,39	0,43	0,36	0,69	0,46	0,38	0,42	0,36	0,34
		1,25	0,82	0,55	0,46	0,50	0,43	0,75	0,53	0,45	0,48	0,42	0,40
		1,5	0,88	0,61	0,52	0,55	0,49	0,80	0,59	0,51	0,54	0,47	0,45
		2	0,96	0,72	0,63	0,64	0,58	0,86	0,67	0,60	0,61	0,56	0,52
		2,5	1,02	0,80	0,71	0,70	0,64	0,90	0,73	0,67	0,66	0,61	0,57
		3	1,05	0,85	0,76	0,74	0,68	0,92	0,77	0,71	0,69	0,65	0,60
		4	1,09	0,92	0,84	0,79	0,74	0,94	0,83	0,77	0,74	0,70	0,65
5	1,12	0,97	0,89	0,83	0,78	0,96	0,86	0,81	0,76	0,73	0,68		
B 4		0,6	0,51	0,25	0,18	0,24	0,18	0,48	0,25	0,19	0,23	0,18	0,17
		0,8	0,62	0,34	0,26	0,32	0,25	0,58	0,33	0,26	0,31	0,25	0,24
		1	0,71	0,41	0,32	0,38	0,31	0,64	0,40	0,32	0,37	0,30	0,29
		1,25	0,78	0,48	0,39	0,44	0,37	0,71	0,47	0,39	0,43	0,35	0,34
		1,5	0,83	0,54	0,45	0,49	0,41	0,75	0,53	0,44	0,47	0,40	0,38
		2	0,91	0,64	0,54	0,57	0,49	0,81	0,60	0,52	0,55	0,47	0,45
		2,5	0,96	0,72	0,61	0,63	0,55	0,85	0,66	0,59	0,59	0,53	0,49
		3	0,99	0,77	0,67	0,67	0,59	0,88	0,70	0,63	0,63	0,57	0,52
		4	1,04	0,85	0,75	0,72	0,66	0,91	0,77	0,69	0,67	0,62	0,57
5	1,07	0,90	0,81	0,76	0,70	0,92	0,80	0,73	0,70	0,66	0,60		
C 2		0,6	0,51	0,27	0,21	0,23	0,18	0,48	0,27	0,20	0,23	0,19	0,18
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,32	0,26	0,58	0,34	0,28	0,31	0,26	0,24
		1	0,70	0,44	0,35	0,38	0,32	0,64	0,41	0,34	0,37	0,31	0,28
		1,25	0,77	0,50	0,41	0,43	0,37	0,70	0,48	0,41	0,42	0,36	0,33
		1,5	0,83	0,56	0,47	0,47	0,41	0,75	0,54	0,46	0,46	0,40	0,36
		2	0,91	0,66	0,57	0,55	0,48	0,80	0,62	0,55	0,53	0,46	0,41
		2,5	0,96	0,74	0,64	0,60	0,54	0,84	0,68	0,61	0,57	0,51	0,46
		3	0,99	0,79	0,69	0,63	0,58	0,87	0,72	0,66	0,60	0,55	0,48
		4	1,04	0,87	0,78	0,69	0,64	0,90	0,78	0,72	0,64	0,60	0,53
5	1,07	0,92	0,84	0,72	0,67	0,91	0,80	0,76	0,67	0,63	0,55		

Fuente: Taboada (1983)

**Tabla 5. Rendimientos del local (continuación)**

Si las curvas de distribución no son simétricas, se toma la curva más apreciada en la tabla como valor medio)

Luminaria	Techo	$\varrho_1$	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Pared	$\varrho_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Suelo	$\varrho_3$	0,3					0,1					
Indice del local		K											
C 3		0,6	0,47	0,21	0,14	0,20	0,13	0,46	0,20	0,15	0,19	0,14	0,13
		0,8	0,58	0,30	0,22	0,27	0,21	0,55	0,29	0,22	0,26	0,20	0,19
		1	0,66	0,37	0,28	0,32	0,26	0,61	0,36	0,27	0,32	0,25	0,23
		1,25	0,73	0,43	0,33	0,38	0,30	0,67	0,42	0,33	0,36	0,29	0,27
		1,5	0,78	0,49	0,39	0,43	0,35	0,71	0,47	0,38	0,41	0,33	0,31
		2	0,87	0,60	0,49	0,51	0,43	0,77	0,56	0,47	0,49	0,41	0,37
		2,5	0,92	0,68	0,57	0,56	0,49	0,81	0,61	0,54	0,54	0,46	0,42
		3	0,96	0,74	0,63	0,60	0,53	0,85	0,66	0,59	0,57	0,50	0,46
		4	1,01	0,82	0,72	0,66	0,60	0,88	0,72	0,66	0,62	0,56	0,51
5	1,05	0,87	0,78	0,70	0,64	0,90	0,77	0,70	0,65	0,60	0,54		
C 4		0,6	0,47	0,21	0,14	0,19	0,14	0,45	0,20	0,16	0,19	0,14	0,14
		0,8	0,57	0,30	0,21	0,26	0,20	0,55	0,29	0,22	0,25	0,19	0,18
		1	0,65	0,36	0,27	0,31	0,24	0,61	0,35	0,27	0,30	0,23	0,21
		1,25	0,72	0,42	0,32	0,36	0,29	0,67	0,41	0,32	0,35	0,28	0,25
		1,5	0,77	0,48	0,37	0,40	0,33	0,71	0,46	0,36	0,39	0,32	0,28
		2	0,85	0,58	0,46	0,47	0,39	0,77	0,54	0,45	0,46	0,38	0,33
		2,5	0,90	0,65	0,54	0,53	0,45	0,81	0,60	0,51	0,50	0,43	0,38
		3	0,94	0,71	0,60	0,57	0,50	0,84	0,65	0,56	0,53	0,47	0,41
		4	0,99	0,79	0,70	0,63	0,56	0,87	0,71	0,64	0,58	0,53	0,46
5	1,02	0,84	0,75	0,66	0,60	0,90	0,75	0,68	0,62	0,56	0,49		
D 2		0,6	0,47	0,20	0,14	0,17	0,12	0,42	0,20	0,15	0,17	0,12	0,11
		0,8	0,55	0,28	0,21	0,24	0,18	0,52	0,27	0,21	0,24	0,18	0,16
		1	0,63	0,36	0,27	0,29	0,23	0,59	0,34	0,27	0,29	0,22	0,20
		1,25	0,70	0,43	0,33	0,34	0,28	0,65	0,41	0,33	0,33	0,27	0,24
		1,5	0,76	0,49	0,39	0,39	0,32	0,69	0,47	0,39	0,37	0,31	0,27
		2	0,84	0,59	0,49	0,46	0,39	0,74	0,55	0,48	0,44	0,37	0,31
		2,5	0,90	0,67	0,57	0,51	0,44	0,78	0,61	0,54	0,48	0,42	0,35
		3	0,93	0,72	0,63	0,55	0,49	0,82	0,65	0,59	0,51	0,46	0,39
		4	0,99	0,81	0,72	0,60	0,54	0,85	0,72	0,66	0,55	0,51	0,43
5	1,02	0,86	0,78	0,63	0,58	0,87	0,76	0,70	0,58	0,54	0,45		
D 3		0,6	0,44	0,19	0,13	0,17	0,11	0,42	0,19	0,14	0,16	0,12	0,10
		0,8	0,55	0,27	0,19	0,23	0,17	0,51	0,26	0,20	0,22	0,16	0,15
		1	0,63	0,34	0,25	0,28	0,22	0,58	0,33	0,25	0,27	0,21	0,18
		1,25	0,69	0,42	0,32	0,33	0,26	0,64	0,40	0,32	0,32	0,26	0,22
		1,5	0,75	0,48	0,38	0,37	0,31	0,68	0,46	0,37	0,36	0,30	0,25
		2	0,82	0,58	0,48	0,44	0,38	0,74	0,54	0,46	0,42	0,36	0,30
		2,5	0,88	0,66	0,56	0,49	0,44	0,78	0,60	0,53	0,46	0,41	0,34
		3	0,92	0,72	0,62	0,53	0,48	0,81	0,64	0,58	0,50	0,45	0,36
		4	0,97	0,80	0,71	0,58	0,53	0,84	0,71	0,65	0,54	0,50	0,40
5	1,00	0,85	0,77	0,61	0,57	0,85	0,75	0,69	0,57	0,53	0,42		
D 4		0,6	0,43	0,17	0,12	0,16	0,095	0,41	0,17	0,12	0,15	0,10	0,095
		0,8	0,53	0,25	0,17	0,21	0,14	0,49	0,24	0,17	0,20	0,14	0,13
		1	0,61	0,31	0,22	0,25	0,19	0,55	0,30	0,21	0,24	0,17	0,16
		1,25	0,68	0,38	0,28	0,30	0,23	0,61	0,36	0,27	0,29	0,22	0,19
		1,5	0,72	0,43	0,33	0,34	0,27	0,65	0,41	0,32	0,33	0,26	0,22
		2	0,80	0,53	0,42	0,41	0,34	0,71	0,50	0,41	0,40	0,33	0,27
		2,5	0,86	0,61	0,50	0,46	0,39	0,76	0,56	0,48	0,44	0,38	0,31
		3	0,90	0,67	0,56	0,50	0,43	0,79	0,61	0,53	0,48	0,42	0,34
		4	0,96	0,75	0,65	0,56	0,49	0,82	0,68	0,60	0,52	0,47	0,38
5	0,99	0,81	0,72	0,59	0,53	0,84	0,71	0,65	0,55	0,51	0,41		

Fuente: Taboada (1983)

**Tabla 5. Rendimientos del local (continuación)**

(Si las curvas de distribución no son simétricas, se toma la curva más apreciada en la tabla como valor medio)

Luminaria	Techo	$\varrho_1$	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Pared	$\varrho_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
Suelo	$\varrho_3$	0,3					0,1						
Indice del local		K											
E 2		0,6	0,39	0,15	0,095	0,11	0,06	0,34	0,15	0,10	0,12	0,08	0,05
		0,8	0,48	0,21	0,14	0,15	0,095	0,44	0,21	0,14	0,16	0,10	0,065
		1	0,56	0,28	0,20	0,18	0,13	0,51	0,27	0,19	0,19	0,13	0,085
		1,25	0,62	0,35	0,26	0,22	0,17	0,57	0,33	0,25	0,22	0,16	0,11
		1,5	0,68	0,41	0,31	0,26	0,20	0,62	0,39	0,30	0,25	0,19	0,13
		2	0,76	0,51	0,41	0,32	0,26	0,68	0,48	0,40	0,30	0,25	0,16
		2,5	0,81	0,59	0,49	0,36	0,31	0,72	0,54	0,47	0,34	0,29	0,18
		3	0,85	0,65	0,55	0,39	0,34	0,75	0,58	0,52	0,37	0,32	0,20
4	0,90	0,72	0,64	0,43	0,39	0,77	0,64	0,58	0,40	0,36	0,22		
5	0,93	0,77	0,70	0,45	0,42	0,78	0,68	0,63	0,43	0,39	0,24		
E 3		0,6	0,41	0,16	0,08	0,13	0,06	0,36	0,14	0,085	0,13	0,06	0,05
		0,8	0,49	0,21	0,12	0,16	0,085	0,44	0,21	0,13	0,15	0,095	0,065
		1	0,55	0,27	0,17	0,19	0,12	0,50	0,26	0,17	0,18	0,12	0,08
		1,25	0,61	0,32	0,23	0,22	0,16	0,56	0,31	0,23	0,21	0,15	0,10
		1,5	0,66	0,38	0,28	0,25	0,19	0,60	0,36	0,28	0,24	0,18	0,12
		2	0,73	0,48	0,37	0,31	0,24	0,66	0,43	0,37	0,29	0,23	0,15
		2,5	0,79	0,56	0,45	0,35	0,28	0,70	0,49	0,43	0,33	0,27	0,17
		3	0,83	0,62	0,52	0,38	0,32	0,72	0,55	0,48	0,35	0,30	0,19
4	0,88	0,70	0,61	0,42	0,37	0,75	0,62	0,55	0,39	0,35	0,21		
5	0,91	0,75	0,68	0,44	0,40	0,78	0,66	0,60	0,42	0,38	0,23		

#### 4.7.2. Cálculos eléctricos

Se realizará el cálculo informatizado del alumbrado y se mostrará la facilidad de cálculo de líneas motores y otros receptores eléctricos. El anexo de cálculo completo y detallado se expone al final.

#### 4.8. MEMORIA TIPO DEL PROYECTO ELÉCTRICO

En este apartado se realizarán algunos comentarios al respecto y se resolverán las dudas que se planteen. El modelo de Memoria completo se dará a quien lo solicite.

Además se realizarán comentarios sobre contenido mínimo en proyectos eléctricos de baja tensión que se presenten en la Comunidades de Valencia y Murcia.

#### 4.9. PLIEGO DE CONDICIONES TIPO DEL PROYECTO ELÉCTRICO

En este apartado realizaremos algunos comentarios y se resolverán las dudas que planteen los alumnos. Se dará un modelo de Pliego de Condiciones a quien lo solicite.

## 4.10. MEDICIONES Y PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

### MEDICIÓN DEL PROYECTO

#### Medición de Cables

<u>Sección(mm<sup>2</sup>)</u>	<u>Metal</u>	<u>Design</u>	<u>Polaridad</u>	<u>Total(m)</u>	<u>Pu(pts)</u>	<u>Ptotal(pts)</u>
1.5	Cu	750 V. PVC	Unipolar	635.6		
2.5	Cu	750 V. PVC	Unipolar	483.2		
4	Cu	750 V. PVC	Unipolar	337.2		
4	Cu	VV 0,6/1KV	Unipolar	20		

---

#### MEDICIÓN DE TUBOS.

<u>Diámetro interior(mm)</u>	<u>Total metros</u>	<u>Pu(pts)</u>	<u>Ptotal(pts)</u>
13	557		
16	168		
48	5		

#### MEDICIÓN DE MAGNETOTERMICOS, INTERRUPTORES AUTOMATICOS Y FUSIBLES.

<u>Descripción</u>	<u>Intens(A)</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Pu(pts)</u>	<u>Ptotal(pts)</u>
Mag/Tetr.	10	5		

#### MEDICIÓN DE DIFERENCIALES.

<u>Descripción</u>	<u>Intens(A)</u>	<u>Sensibilidad(mA)</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Pu(pts)</u>	<u>Ptotal(pts)</u>
Diferen./Tetr.	25	30	1		

#### MEDICIÓN DE RELES TÉRMICOS.

<u>Descripción</u>	<u>Intens(A)</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Pu(pts)</u>	<u>Ptotal(pts)</u>
--------------------	------------------	-----------------	----------------	--------------------

#### MEDICIÓN DE CONTACTORES.

<u>Descripción</u>	<u>Intens(A)</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Pu(pts)</u>	<u>Ptotal(pts)</u>
--------------------	------------------	-----------------	----------------	--------------------

#### MEDICIÓN DE PROTECCIONES REPARTIDORA Y DERIVACIÓN INDIVIDUAL.

<u>Descripción</u>	<u>Intens(A)</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Pu(pts)</u>	<u>Ptotal(pts)</u>
Mag/Tetr.	15	1		

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Arbós, A.M. 1992. **El crisantemo: cultivo, multiplicación y enfermedades**. Mundi-Prensa. Madrid. 170 pp.
- De Francisco, A.; Castillo, M. y Torres, J.L. 1993. **La energía eléctrica en la explotación agraria y forestal**. Mundi-Prensa. Madrid. 397 pp.
- Dm-Elect, S.L. 2001. **Cálculo de instalaciones eléctricas en B.T.- CIEBWIN**. Dm-Elect, S.L. Albos.
- Matallana, A. y Montero, J.I. 2001. **Invernaderos**. Mundi-Prensa. Madrid. 209 pp.
- Taboada, J.A. 1983. **Manual de luminotecnia**. Osram y Dossat. Madrid. 399 pp.
- Urbano, P. 1995. **Tratado de fitotecnia general**. Mundi-Prensa. Madrid. 1.147 pp.
- Vidalie, H. 1992. **Producción de flores y plantas ornamentales**. Mundi-Prensa. Madrid. 310 pp.
- Westwood, N.H. 1982. **Fruticultura de zonas templadas**. Mundi-Prensa. Madrid. 461 pp.



## CUADRO GENERAL DE MANDO Y PROTECCIÓN

### Fórmulas

Emplearemos las siguientes:

Sistema Trifásico

$$I = Pc / 1,732 \times U \times \text{Cos}\varphi \times R = \text{amp (A)}$$

$$e = (L \times Pc / k \times U \times n \times S \times R) + (L \times Pc \times Xu \times \text{Sen}\varphi / 1000 \times U \times n \times R \times \text{Cos}\varphi) = \text{voltios (V)}$$

Sistema Monofásico:

$$I = Pc / U \times \text{Cos}\varphi \times R = \text{amp (A)}$$

$$e = (2 \times L \times Pc / k \times U \times n \times S \times R) + (2 \times L \times Pc \times Xu \times \text{Sen}\varphi / 1000 \times U \times n \times R \times \text{Cos}\varphi) = \text{voltios (V)}$$

En donde:

Pc = Potencia de Cálculo en Watios.

L = Longitud de Cálculo en metros.

e = Caída de tensión en Voltios.

K = Conductividad. Cobre 56. Aluminio 35.

I = Intensidad en Amperios.

U = Tensión de Servicio en Voltios (Trifásica ó Monofásica).

S = Sección del conductor en mm<sup>2</sup>.

Cos  $\varphi$  = Coseno de  $\varphi$ . Factor de potencia.

R = Rendimiento. (Para líneas motor).

n = N<sup>o</sup> de conductores por fase.

Xu = Reactancia por unidad de longitud en m $\Omega$ /m.

## Fórmulas Cortocircuito

$$* I_{pccI} = C_t U / \sqrt{3} Z_t$$

Siendo,

$I_{pccI}$ : intensidad permanente de c.c. en inicio de línea en kA.

$C_t$ : Coeficiente de tensión obtenido de condiciones generales de c.c.

$U$ : Tensión trifásica en V, obtenida de condiciones generales de proyecto.

$Z_t$ : Impedancia total en mohm, aguas arriba del punto de c.c. (sin incluir la línea o circuito en estudio).

$$* I_{pccF} = C_t U_F / 2 Z_t$$

Siendo,

$I_{pccF}$ : Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en kA.

$C_t$ : Coeficiente de tensión obtenido de condiciones generales de c.c.

$U_F$ : Tensión monofásica en V, obtenida de condiciones generales de proyecto.

$Z_t$ : Impedancia total en mohm, incluyendo la propia de la línea o circuito (por tanto es igual a la impedancia en origen mas la propia del conductor o línea).

\* La impedancia total hasta el punto de cortocircuito será:

$$Z_t = (R_t^2 + X_t^2)^{1/2}$$

Siendo,

$R_t$ :  $R_1 + R_2 + \dots + R_n$  (suma de las resistencias de las líneas aguas arriba hasta el punto de c.c.)

$X_t$ :  $X_1 + X_2 + \dots + X_n$  (suma de las reactancias de las líneas aguas arriba hasta el punto de c.c.)

$$R = L \cdot 1000 \cdot C_R / K \cdot S \cdot n \quad (\text{mohm})$$

$$R = X_u \cdot L / n \quad (\text{mohm})$$

$R$ : Resistencia de la línea en mohm.

$X$ : Reactancia de la línea en mohm.

$L$ : Longitud de la línea en m.

$C_R$ : Coeficiente de resistividad, extraído de condiciones generales de c.c.

$K$ : Conductividad del metal;  $K_{Cu} = 56$ ;  $K_{Al} = 35$ .

$S$ : Sección de la línea en mm<sup>2</sup>.

$X_u$ : Reactancia de la línea, en mohm, por metro.

$n$ : n° de conductores por fase.

$$* t_{mcc} = C_c \cdot S^2 / I_{pccF}^2$$

Siendo,

$t_{mcc}$ : Tiempo máximo en sg que un conductor soporta una  $I_{pcc}$ .

$C_c$ : Constante que depende de la naturaleza del conductor y de su aislamiento.

$S$ : Sección de la línea en mm<sup>2</sup>.

$I_{pccF}$ : Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en A.

$$* t_{ficc} = cte. \text{ fusible} / I_{pccF}^2$$

Siendo,

$t_{ficc}$ : tiempo de fusión de un fusible para una determinada intensidad de cortocircuito.

$I_{pccF}$ : Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en A.

$$* L_{max} = 0,8 U_F / 2 \cdot I_{F5} \cdot \sqrt{(1,5 / K \cdot S \cdot n)^2 + (X_u / n \cdot 1000)^2}$$

Siendo,

$L_{max}$ : Longitud máxima de conductor protegido a c.c. (m) (para protección por fusibles)



$U_F$ : Tensión de fase (V)

K: Conductividad - Cu: 56, Al: 35

S: Sección del conductor (mm<sup>2</sup>)

$X_u$ : Reactancia por unidad de longitud (mohm/m). En conductores aislados suele ser 0,08.

n: n° de conductores por fase

$C_t = 0,8$ : Es el coeficiente de tensión de condiciones generales de c.c.

$C_R = 1,5$ : Es el coeficiente de resistencia.

$I_{F5}$  = Intensidad de fusión en amperios de fusibles en 5 sg.

\* Curvas válidas.(Para protección de Interruptores automáticos dotados de Relé electromagnético).

CURVA B	IMAG = 5 In
CURVA C	IMAG = 10 In
CURVA D Y MA	IMAG = 20 In

## Fórmulas Embarrados

### Cálculo electrodinámico

$$\sigma_{\max} = I_{pcc}^2 \cdot L^2 / (60 \cdot d \cdot W_y \cdot n)$$

Siendo,

$\sigma_{\max}$ : Tensión máxima en las pletinas (kg/cm<sup>2</sup>)

$I_{pcc}$ : Intensidad permanente de c.c. (kA)

L: Separación entre apoyos (cm)

d: Separación entre pletinas (cm)

n: n° de pletinas por fase

$W_y$ : Módulo resistente por pletina eje y-y (cm<sup>3</sup>)

$\sigma_{adm}$ : Tensión admisible material (kg/cm<sup>2</sup>)

### Comprobación por sollicitación térmica en cortocircuito

$$I_{cccs} = K_c \cdot S / (1000 \cdot \sqrt{t_{cc}})$$

Siendo,

$I_{pcc}$ : Intensidad permanente de c.c. (kA)

$I_{cccs}$ : Intensidad de c.c. soportada por el conductor durante el tiempo de duración del c.c. (kA)

S: Sección total de las pletinas (mm<sup>2</sup>)

$t_{cc}$ : Tiempo de duración del cortocircuito (sg)

$K_c$ : Constante del conductor: Cu = 164, Al = 107

### DEMANDA DE POTENCIAS

A continuación vamos a exponer y detallar la demanda de potencias de fuerza motriz y de alumbrado.

LA1	864 W
LAE1	54 W
LA1	72 W
LAE2	18 W
LA3	720 W
LAE3	54 W
LA1	288 W
LAE4	54 W
LA5	576 W
LAE5	54 W
TOTAL....	2754 W

### Cálculo de la DERIVACIÓN INDIVIDUAL

- Tensión de servicio: 380 V.
- Nivel de aislamiento: 1000 V. (Aire Bajo Tubo)
- Longitud: 5 m; Cos  $\varphi$ : 0.8;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;
- Potencia a instalar: 2754 W.
- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):  
4957.2 W.(Coef. de Simult.: 1 )

$$I=4957.2/1,732 \times 380 \times 0.8=9.41 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares 4x4mm<sup>2</sup>Cu

Designación U.N.E. VV 0,6/1KV

I.ad. a 40°C (FcT=0.8) 24 A. según MIE BT 004 TABLA V

D. tubo: 48mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=5 \times 4957.2 / 56 \times 380 \times 4 = 0.29 \text{ V.} = 0.08 \%$$

$$e(\text{total})=0.08\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

Prot. Térmica:

I. Mag. Tetrapolar Int. 15 A.

Protección diferencial:

Inter. Dif. Tetrapolar Int.: 25 A. Sens. Int.: 30 mA.

### Cálculo de la Línea: L1

- Tensión de servicio: 380 V.
- Nivel de aislamiento: 750 V. (Al Aire)
- Longitud: 0.3 m; Cos  $\varphi$ : 0.8;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;
- Potencia a instalar: 918 W.
- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):  
1652.4 W.(Coef. de Simult.: 1 )

$$I=1652.4/1,732 \times 380 \times 0.8=3.14 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares 4x4mm<sup>2</sup>Cu

I.ad. a 40°C (FcT=1) 23 A. según MIE BT 017 TABLA I

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=0.3 \times 1652.4 / 56 \times 380 \times 4 = 0.01 \text{ V.} = 0 \%$$

$$e(\text{total})=0.08\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

Prot. Térmica:

I. Mag. Tetrapolar Int. 10 A.

### Cálculo de la Línea: LA1

- Tensión de servicio: 220 V.
- Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)
- Longitud: 168 m; Cos  $\varphi$ : 1;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;
- Datos por tramo

Tramo	1	2	3	4	5	6
Longitud(m)	15.5	20.5	25.5	30.5	35.5	40.5
P.des.nu.(W)	144	144	144	144	144	144
P.inc.nu.(W)	0	0	0	0	0	0

- Potencia a instalar: 864 W.

- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):  
864x1.8=1555.2 W.

$$I=1555.2/220 \times 1=7.07 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $2 \times 4 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

I.ad. a  $40^\circ \text{C}$  ( $F_c T=1$ ) 23 A. según MIE BT 017 TABLA I

D.i. tubo: 16mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=2 \times 83.42 \times 1555.2/56 \times 220 \times 4=5.26 \text{ V.}=2.39 \%$$

$$e(\text{total})=2.47\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

### Cálculo de la Línea: LAE1

- Tensión de servicio: 220 V.

- Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)

- Longitud: 101 m;  $\text{Cos } \varphi: 1$ ;  $X_u(\text{m}\Omega/\text{m}): 0$ ;

- Datos por tramo

Tramo	1	2	3
Longitud(m)	20.5	35.5	45
P.des.nu.(W)	18	18	18
P.inc.nu.(W)	0	0	0

- Potencia a instalar: 54 W.

- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):

$$54 \times 1.8=97.2 \text{ W.}$$

$$I=97.2/220 \times 1=0.44 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $2 \times 2.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

I.ad. a  $40^\circ \text{C}$  ( $F_c T=1$ ) 17 A. según MIE BT 017 TABLA I

D.i. tubo: 13mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=2 \times 59.17 \times 97.2/56 \times 220 \times 2.5=0.37 \text{ V.}=0.17 \%$$

$$e(\text{total})=0.25\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

### Cálculo de la Línea: L2

- Tensión de servicio: 380 V.

- Nivel de aislamiento: 750 V. (Al Aire)

- Longitud: 0.3 m;  $\text{Cos } \varphi: 0.8$ ;  $X_u(\text{m}\Omega/\text{m}): 0$ ;

- Potencia a instalar: 90 W.

- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):

$$162 \text{ W.}(\text{Coef. de Simult.: } 1)$$

$$I=162/1,732 \times 380 \times 0.8=0.31 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $4 \times 1.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

I.ad. a  $40^\circ \text{C}$  ( $F_c T=1$ ) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=0.3 \times 162/56 \times 380 \times 1.5=0 \text{ V.}=0 \%$$

$$e(\text{total})=0.08\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

Prot. Térmica:

I. Mag. Tetrapolar Int. 10 A.

### Cálculo de la Línea: LA1

- Tensión de servicio: 220 V.

- Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)

- Longitud: 13 m; Cos  $\varphi$ : 1;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;

- Datos por tramo

Tramo	1
Longitud(m)	13
P.des.nu.(W)	72
P.inc.nu.(W)	0

- Potencia a instalar: 72 W.

- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):

$$72 \times 1.8 = 129.6 \text{ W.}$$

$$I = 129.6 / 220 \times 1 = 0.59 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

I.ad. a  $40^\circ\text{C}$  ( $F_c T = 1$ ) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I

D.i. tubo: 13mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial}) = 2 \times 13 \times 129.6 / 56 \times 220 \times 1.5 = 0.18 \text{ V.} = 0.08 \%$$

$$e(\text{total}) = 0.16\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

### Cálculo de la Línea: LAE2

- Tensión de servicio: 220 V.

- Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)

- Longitud: 10 m; Cos  $\varphi$ : 1;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;

- Datos por tramo

Tramo	1
Longitud(m)	10
P.des.nu.(W)	18
P.inc.nu.(W)	0

- Potencia a instalar: 18 W.

- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):

$$18 \times 1.8 = 32.4 \text{ W.}$$

$$I = 32.4 / 220 \times 1 = 0.15 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

I.ad. a  $40^\circ\text{C}$  ( $F_c T = 1$ ) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I

D.i. tubo: 13mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial}) = 2 \times 10 \times 32.4 / 56 \times 220 \times 1.5 = 0.04 \text{ V.} = 0.02 \%$$

$$e(\text{total}) = 0.09\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

### Cálculo de la Línea: L3

- Tensión de servicio: 380 V.

- Nivel de aislamiento: 750 V. (Al Aire)

- Longitud: 0.3 m; Cos  $\varphi$ : 0.8;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;

- Potencia a instalar: 774 W.

- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):

$$1393.2 \text{ W. (Coef. de Simult.: 1)}$$

$$I = 1393.2 / 1,732 \times 380 \times 0.8 = 2.65 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $4 \times 2.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

I.ad. a  $40^\circ\text{C}$  ( $F_c T = 1$ ) 17 A. según MIE BT 017 TABLA I

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=0.3 \times 1393.2 / 56 \times 380 \times 2.5 = 0.01 \text{ V.} = 0 \%$$

$$e(\text{total})=0.08\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

Prot. Térmica:

I. Mag. Tetrapolar Int. 10 A.

### Cálculo de la Línea: LA3

- Tensión de servicio: 220 V.

- Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)

- Longitud: 140 m; Cos  $\varphi$ : 1;  $X_u(\text{m}\Omega/\text{m})$ : 0;

- Datos por tramo

Tramo	1	2	3	4	5
Longitud(m)	18	23	28	33	38
P.des.nu.(W)	144	144	144	144	144
P.inc.nu.(W)	0	0	0	0	0

- Potencia a instalar: 720 W.

- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):

$$720 \times 1.8 = 1296 \text{ W.}$$

$$I = 1296 / 220 \times 1 = 5.89 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $2 \times 2.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

I.ad. a  $40^\circ\text{C}$  ( $F_c T = 1$ ) 17 A. según MIE BT 017 TABLA I

D.i. tubo: 13mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=2 \times 74 \times 1296 / 56 \times 220 \times 2.5 = 6.23 \text{ V.} = 2.83 \%$$

$$e(\text{total})=2.91\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

### Cálculo de la Línea: LAE3

- Tensión de servicio: 220 V.

- Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)

- Longitud: 60 m; Cos  $\varphi$ : 1;  $X_u(\text{m}\Omega/\text{m})$ : 0;

- Datos por tramo

Tramo	1	2	3
Longitud(m)	10	20	30
P.des.nu.(W)	18	18	18
P.inc.nu.(W)	0	0	0

- Potencia a instalar: 54 W.

- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):

$$54 \times 1.8 = 97.2 \text{ W.}$$

$$I = 97.2 / 220 \times 1 = 0.44 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

I.ad. a  $40^\circ\text{C}$  ( $F_c T = 1$ ) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I

D.i. tubo: 13mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=2 \times 33.33 \times 97.2 / 56 \times 220 \times 1.5 = 0.35 \text{ V.} = 0.16 \%$$

$$e(\text{total})=0.24\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

### Cálculo de la Línea: L4

- Tensión de servicio: 380 V.
- Nivel de aislamiento: 750 V. (Al Aire)
- Longitud: 0.3 m; Cos  $\varphi$ : 0.8;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;
- Potencia a instalar: 342 W.
- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):  
615.6 W.(Coef. de Simult.: 1 )

$$I=615.6/1,732 \times 380 \times 0.8=1.17 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares 4x1.5mm<sup>2</sup>Cu

I.ad. a 40°C (FcT=1) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=0.3 \times 615.6 / 56 \times 380 \times 1.5=0.01 \text{ V.}=0 \%$$

$$e(\text{total})=0.08\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

Prot. Térmica:

I. Mag. Tetrapolar Int. 10 A.

### Cálculo de la Línea: LA1

- Tensión de servicio: 220 V.
- Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)
- Longitud: 25 m; Cos  $\varphi$ : 1;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;
- Datos por tramo

Tramo	1	2
Longitud(m)	10	15
P.des.nu.(W)	144	144
P.inc.nu.(W)	0	0

- Potencia a instalar: 288 W.
- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):  
288x1.8=518.4 W.

$$I=518.4/220 \times 1=2.36 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares 2x1.5mm<sup>2</sup>Cu

I.ad. a 40°C (FcT=1) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I

D.i. tubo: 13mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial})=2 \times 17.5 \times 518.4 / 56 \times 220 \times 1.5=0.98 \text{ V.}=0.45 \%$$

$$e(\text{total})=0.52\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

### Cálculo de la Línea: LAE4

- Tensión de servicio: 220 V.
- Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)
- Longitud: 56 m; Cos  $\varphi$ : 1;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;
- Datos por tramo

Tramo	1	2	3
Longitud(m)	12	17	27
P.des.nu.(W)	18	18	18
P.inc.nu.(W)	0	0	0

- Potencia a instalar: 54 W.
- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):

$$54 \times 1.8 = 97.2 \text{ W.}$$

$$I = 97.2 / 220 \times 1 = 0.44 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$   
I.ad. a  $40^\circ \text{C}$  ( $F_c T = 1$ ) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I  
D.i. tubo: 13mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial}) = 2 \times 32.33 \times 97.2 / 56 \times 220 \times 1.5 = 0.34 \text{ V.} = 0.15 \%$$

$$e(\text{total}) = 0.23\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

### Cálculo de la Línea: L5

- Tensión de servicio: 380 V.
- Nivel de aislamiento: 750 V. (Al Aire)
- Longitud: 0.3 m;  $\text{Cos } \varphi$ : 0.8;  $X_u(\text{m}\Omega/\text{m})$ : 0;
- Potencia a instalar: 630 W.
- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):  
1134 W. (Coef. de Simult.: 1)

$$I = 1134 / 1,732 \times 380 \times 0.8 = 2.15 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $4 \times 1.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$   
I.ad. a  $40^\circ \text{C}$  ( $F_c T = 1$ ) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial}) = 0.3 \times 1134 / 56 \times 380 \times 1.5 = 0.01 \text{ V.} = 0 \%$$

$$e(\text{total}) = 0.08\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

Prot. Térmica:

I. Mag. Tetrapolar Int. 10 A.

### Cálculo de la Línea: LA5

- Tensión de servicio: 220 V.
  - Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)
  - Longitud: 90 m;  $\text{Cos } \varphi$ : 1;  $X_u(\text{m}\Omega/\text{m})$ : 0;
  - Datos por tramo
- |              |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| Tramo        | 1   | 2   | 3   | 4   |
| Longitud(m)  | 15  | 20  | 25  | 30  |
| P.des.nu.(W) | 144 | 144 | 144 | 144 |
| P.inc.nu.(W) | 0   | 0   | 0   | 0   |

- Potencia a instalar: 576 W.
- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):  
 $576 \times 1.8 = 1036.8 \text{ W.}$

$$I = 1036.8 / 220 \times 1 = 4.71 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$   
I.ad. a  $40^\circ \text{C}$  ( $F_c T = 1$ ) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I  
D.i. tubo: 13mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial}) = 2 \times 50 \times 1036.8 / 56 \times 220 \times 1.5 = 5.61 \text{ V.} = 2.55 \%$$

$$e(\text{total}) = 2.63\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

## Cálculo de la Línea: LAE5

- Tensión de servicio: 220 V.
- Nivel de aislamiento: 750 V. (Bajo Tubo)
- Longitud: 62 m; Cos  $\varphi$ : 1;  $X_u(m\Omega/m)$ : 0;

### - Datos por tramo

Tramo	1	2	3
Longitud(m)	14	19	29
P.des.nu.(W)	18	18	18
P.inc.nu.(W)	0	0	0

- Potencia a instalar: 54 W.
- Potencia de cálculo: (Según MIE BT 032):  
 $54 \times 1.8 = 97.2$  W.

$$I = 97.2 / 220 \times 1 = 0.44 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

I.ad. a  $40^\circ \text{C}$  ( $F_c T = 1$ ) 12 A. según MIE BT 017 TABLA I

D.i. tubo: 13mm.

Caída de tensión:

$$e(\text{parcial}) = 2 \times 36.33 \times 97.2 / 56 \times 220 \times 1.5 = 0.38 \text{ V.} = 0.17 \%$$

$$e(\text{total}) = 0.25\% \text{ ADMIS}(3\% \text{ MAX.})$$

## **CÁLCULO DE EMBARRADO CUADRO GENERAL DE MANDO Y PROTECCIÓN**

### Datos

- Metal: Cu
- Estado pletinas: desnudas
- n° pletinas por fase: 1
- Separación entre pletinas, d(cm): 10
- Separación entre apoyos, L(cm): 25
- Tiempo duración c.c. (sg): 0.5

### Pletina adoptada

- Sección ( $\text{mm}^2$ ): 40
- Ancho (mm): 20
- Espesor (mm): 2
- $W_x, I_x, W_y, I_y$  ( $\text{cm}^3, \text{cm}^4$ ): 0.133, 0.133, 0.0133, 0.0013
- I. admisible del embarrado (A): 185

### a) Cálculo electrodinámico

$$\sigma_{\max} = I_{\text{pcc}}^2 \cdot L^2 / (60 \cdot d \cdot W_y \cdot n) = 3.73^2 \cdot 25^2 / (60 \cdot 10 \cdot 0.0133 \cdot 1) = 1088.482 \leq 1200$$

kg/cm<sup>2</sup> Cu

### b) Cálculo térmico, por intensidad admisible

$$I_{\text{cal}} = 9.41 \text{ A}$$

$$I_{\text{adm}} = 185 \text{ A}$$

### c) Comprobación por sollicitación térmica en cortocircuito

$$I_{\text{pcc}} = 3.73 \text{ kA}$$



$$I_{cccs} = K_c \cdot S / (1000 \cdot \sqrt{tcc}) = 164 \cdot 40 \cdot 1 / (1000 \cdot \sqrt{0.5}) = 9.28 \text{ kA}$$

Los resultados obtenidos se reflejan en las siguientes tablas:

### Cuadro General de Mando y Protección

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc (m)	Sección (mm <sup>2</sup> )	I.Cálculo (A)	I.Admi. (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)
DERIVACION IND.	4957.2	5	4x4 Cu	9.41	24	0.08	0.08
L1	1652.4	0.3	4x4 Cu	3.14	23	0	0.08
LA1	1555.2	168	2x4 Cu	7.07	23	2.39	2.47
LAE1	97.2	101	2x2.5 Cu	0.44	17	0.17	0.25
L2	162	0.3	4x1.5 Cu	0.31	12	0	0.08
LA1	129.6	13	2x1.5 Cu	0.59	12	0.08	0.16
LAE2	32.4	10	2x1.5 Cu	0.15	12	0.02	0.09
L3	1393.2	0.3	4x2.5 Cu	2.65	17	0	0.08
LA3	1296	140	2x2.5 Cu	5.89	17	2.83	2.91
LAE3	97.2	60	2x1.5 Cu	0.44	12	0.16	0.24
L4	615.6	0.3	4x1.5 Cu	1.17	12	0	0.08
LA1	518.4	25	2x1.5 Cu	2.36	12	0.45	0.52
LAE4	97.2	56	2x1.5 Cu	0.44	12	0.15	0.23
L5	1134	0.3	4x1.5 Cu	2.15	12	0	0.08
LA5	1036.8	90	2x1.5 Cu	4.71	12	2.55	2.63
LAE5	97.2	62	2x1.5 Cu	0.44	12	0.17	0.25

### Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm <sup>2</sup> )	I <sub>pccI</sub> (kA)	P de C (kA)	I <sub>pccF</sub> (A)	t <sub>mcc</sub> (sg)	t <sub>ficc</sub> (sg)	L <sub>máx</sub> (m)	Curvas válidas
DERIVACION IND.	5	4x4 Cu	12	22	1863.98	0.06			15;B,C,D
L1	0.3	4x4 Cu	3.72	4.5	1788.47	0.07			10;B
LA1	168	2x4 Cu	3.57		74.97	37.65			
LAE1	101	2x2.5 Cu	3.57		77.81	13.65			
L2	0.3	4x1.5 Cu	3.72	4.5	1675.26	0.01			10;B,C,D
LA1	13	2x1.5 Cu	3.34		309.43	0.31			
LAE2	10	2x1.5 Cu	3.34		381.22	0.2			
L3	0.3	4x2.5 Cu	3.72	4.5	1746.01	0.03			10;B
LA3	140	2x2.5 Cu	3.48		56.77	25.65			
LAE3	60	2x1.5 Cu	3.48		78.47	4.83			
L4	0.3	4x1.5 Cu	3.72	4.5	1675.26	0.01			10;B
LA1	25	2x1.5 Cu	3.34		176.48	0.96			
LAE4	56	2x1.5 Cu	3.34		83.63	4.25			
L5	0.3	4x1.5 Cu	3.72	4.5	1675.26	0.01			10;B
LA5	90	2x1.5 Cu	3.34		53.03	10.58			
LAE5	62	2x1.5 Cu	3.34		75.9	5.16			

## CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA

- La resistividad del terreno es 300 ohmiosxm.
- El electrodo en la puesta a tierra del edificio, se constituye con los siguientes elementos:

M. conductor de Cu desnudo	35 mm <sup>2</sup>
M. conductor de Acero galvanizado	95 mm <sup>2</sup> 30 m.
Picas verticales de Cobre	14 mm
de Acero recubierto Cu	14 mm 1 picas de 2m.
de Acero galvanizado	25 mm

Con lo que se obtendrá una Resistencia de tierra de 17.65 ohmios.

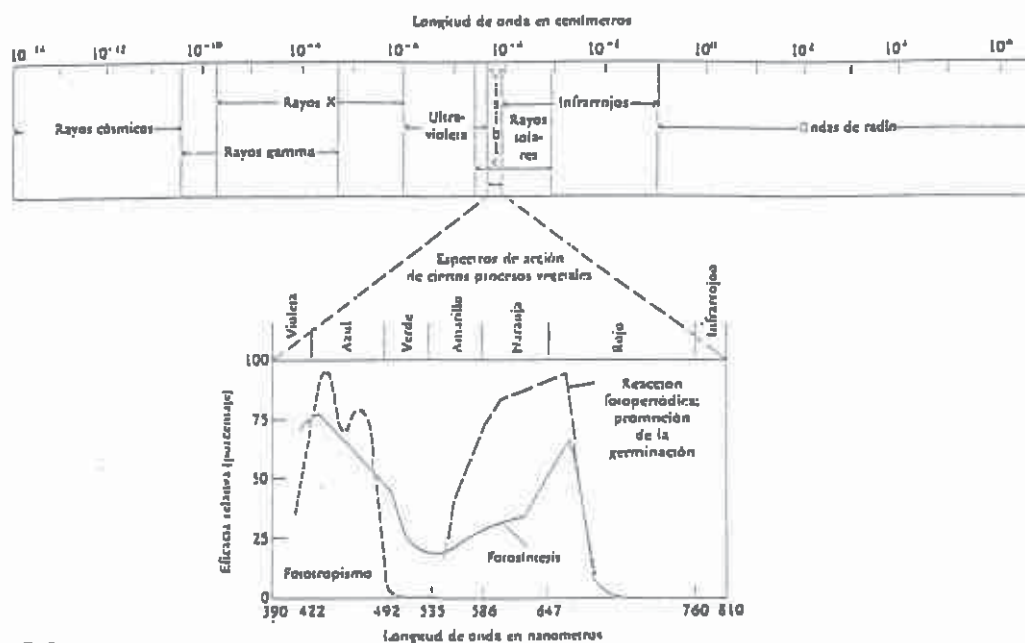
Los conductores de protección, se calcularon adecuadamente y según la MIE BT 017, tabla V, en el apartado del cálculo de circuitos.

Así mismo cabe señalar que la línea principal de tierra no será inferior a 16 mm<sup>2</sup> en Cu, y la línea de enlace con tierra, no será inferior a 35 mm<sup>2</sup> en Cu.



## FE DE ERRATAS

Figura 7.



Página 26

Página	Línea	Dice	Debe decir
7	26	1972	1772
8	7	CO <sub>2</sub> .	O <sub>2</sub>
16	19	La figura 1.5	La Figura 4
29		Cada especie cultivada pueden presentar	Cada especie cultivada puede presentar
32	4	Éstas se conectan diariamente a la red	Éstas se conectan directamente a la red
46	18	E = Caída de tensión en la línea	e = Caída de tensión en la línea
48	2	en valor eficaz a	en valor eficaz a:
49	8	Nave 3 50 m <sup>2</sup> en zona de	Nave 3: 50 m <sup>2</sup> en zona de
52	19	Para la condensación de esta iluminación	Para la distribución de esta iluminación

# FE DE ERRATAS

Figura 7.

