

CAL IL·LUMINAR BÉ LES NOSTRES INDÚSTRIES

A l'amic Francesc F. Sintès

LA bona il·luminació d'una fàbrica és una de les primeres condicions requerides per obtenir una marxa favorable de la manufactura. No n'hi ha prou amb què hi hagi un edifici espaiós i ben acondicionat, un utilatge d'elevat rendiment i uns obrers aptes i de bona voluntat, si tots ells han de treballar en forma desfavorable degut a la insuficiència de la llum.

Sol succeir també sovint que hi ha prou quantitat de llum, però que aquesta està mal repartida; això dona lloc a efectes d'enlluernament i a contrastos de llum i ombra més desfavorables encara per al treball que la mateixa escassetat de llum.

Els principals avantatges que s'obtenen d'un sistema correcte d'il·luminació industrial poden resumir-se com segueix:

1. Augment de producció.
2. Treball més precís i acurat.
3. Disminució del nombre d'accidents.
4. Reducció del material desperdiciat.
5. Millor aspecte de les fàbriques.
6. Menor fatiga de la vista.
7. Condicions de treball millorades: personal més satisfet.
8. Orde més perfecte en la marxa del treball.
9. Disminució del consum de fluid elèctric.
10. Vigilància i control més fàcils i segurs.

Segons dades comprovades ¹, s'han obtingut en diverses indústries, en millorar la il·luminació, augments de producció que oscil·len entre 8,5 i 35 per cent, mentre que la despesa produïda pel nou servei és solament de 2 a 5 per cent del benefici obtingut. Estadístiques fetes amb la màxima atenció en països en què es dona a aquest problema tota la importància que es mereix ², han permès arribar a obtenir gràfiques com la de la fig. 1, en la qual hom pot observar com augmenta intensament el nombre d'accidents del treball a l'hivern—dies curts—en les fàbriques mal il·luminades.

L'estímul d'una bona il·luminació fa que tant l'home com la màquina donin el rendiment màxim. Nombroses instal·lacions industrials treballen

¹ De la revista *Light*, Nela Park, Cleveland (U. S. A.), Gener, 1926.

² Treball publicat per la *Benjamin Electric*, de London, 1925.

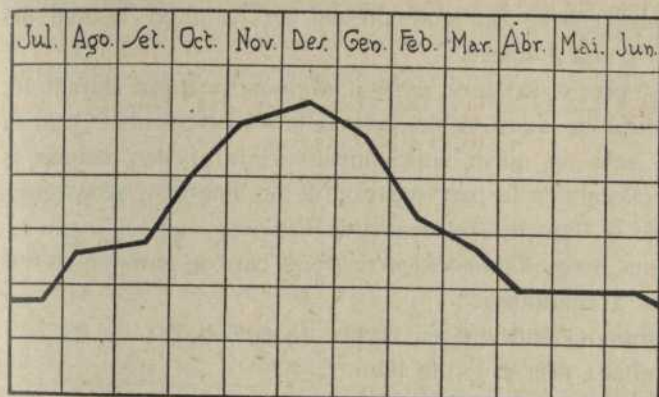


Fig. 1
Gràfic de la proporció d'accidents en les fàbriques mal il·luminades segons les diverses èpoques de l'any.

en millors condicions en el període de llum elèctrica que durant les hores del dia ³. En quant al cost de manteniment d'un bon sistema d'il·luminació elèctric en una fàbrica és molt reduït si se'l compara amb l'economia obtinguda en la marxa general de la indústria.

Cal evitar—en projectar un sistema d'il·luminació artificial—que la llum directa ⁴ massa intensa arribi a la vista de l'operari. Els ulls són els òrgans més delicats del cos humà i cal protegir-los a fi de què rendeixin un servei continu, eficient i amb el mínim esforç. La quantitat de llum que entra dins de l'ull és controlada per les dimensions de la nina. Quan, degut a l'excessiva llum directa, la vista és enlluernada, la nina es contrau, amb ço que disminueix, evidentment, la agüitat visual ⁵.

En canvi, sota condicions adequades de llum, la nina té les seves mides normals, el què facilita l'obtenció d'una visió perfecta. És el què demostra la fig. 2.



³ Personalment, hem tingut ocasió d'intervenir a Catalunya en una instal·lació lluminosa d'una fàbrica, en què els obrers prefereixen treballar en el torn de nit que en el de dia, degut a la millor difusió de la llum elèctrica emprada.

⁴ S'entén per *llum directa*, aquella que va directament des del focus de llum fins al camp visual de l'observador, sense reflexió de cap mena.

⁵ S'entén per *agüitat* o *agüesa visual* la facilitat de la vista de percebre els detalls. Varia amb làmpades de diferents colors, amb la intensitat o il·luminació i amb la distribució de la llum.

Ara, anem a veure el què cal tenir present en plantejar l'estudi del sistema d'illuminació d'una indústria.

Primer de tot és precís preveure un bon *illuminat natural* durant les hores de dia, per mitjà de finestres de proporcions convenients. Quan la regió central de la sala no quedi suficientment clara, poden emprar-se cristalls prismàtics col·locats en la part superior de les finestres, aconseguint així, redirigir part de la llum vers el centre de l'edifici.

Per disposar d'una bona *illuminació artificial* s'han de satisfer els requeriments ⁶ indicats a continuació:

- a) Intensitat lluminosa suficient en el pla de treball.
- b) Direcció adequada dels raigs de llum.
- c) Absència de llum intensa directa o reflectida que pugui produir enlluernament.
- d) Bona difusió de la llum i manca d'ombres molt marcades.
- e) Lampares de potència convenient.
- f) Color favorable de sostre i parets.
- g) Seguretat de funcionament i economia del servei.

Encara que, en realitat, no existeix cap legislació oficial de la intensitat lluminosa en fàbriques o tallers, en alguns departaments dels Estats Units—Pennsilvània, New Jersey, New York i Wisconsin—són reglamentades les intensitats de llum requerides, la distribució de les làmpades, la instal·lació pilot o de seguretat, els aparells de control, etc., per les diferents classes d'indústria. També en altres països, manufactures especialitzades en connexió amb associacions d'enginyers han editat notables treballs que poden ésser presos com a veritables pautes. Un resum de totes aquestes dades per indicar les valors mínimes d'illuminació en *lumens per metre quadrat* o *bugies-metre* ⁷ ve donat en la taula següent:

Valors d'intensitats lluminoses en bugies-metre

Caràcter de l'àrea il·luminada	Clewell ⁸	General Electric Co.	Wisconsin (U. S. A.)	Codi I. E. S. ⁹	Comité anglès	Pennsilvània (U.S.A.)	Valors recomanades en la pràctica
Il·luminació general de tallers	—	8.0	—	—	2.5	—	2.5—10
Passadissos, escales, etc. ...	5.0	5.0	—	2.5	1.0	2.5	2.5—5
Fundicions	—	30.0	15.0	12.5	4.0	12.5	10—25
Manufactures bastes... ..	30.0	20.0	7.5	12.5	—	12.5	12.5—25
Manufactures fines	50.0	50.0	15.0	35.0	35.0	—	30—50

⁶ De l'obra de l'autor *Técnica de Iluminación Eléctrica*, Barcelona, 1927.

⁷ La *bugia-metre* equivalent a un lumen per metre quadrat, és la il·luminació produïda en un punt d'una superfície normal a la direcció d'un focus lluminós, la intensitat del qual és una bugia, situada a un metre de distància.

⁸ *Factory Lighting*, New York, 1918.

⁹ Codi publicat per la *Illuminating Engineering Society*, New York, 1923.

Per il·luminar correctament una indústria pot adoptar-se un dels sistemes: general, específic o combinat. *Il·luminació general* és la que subministra llum uniforme a tota la superfície del pla de treball; els focus de llum són equidistants i l'alçària de fixació és la mateixa per a tots ells (fig. 3). Les làmp-

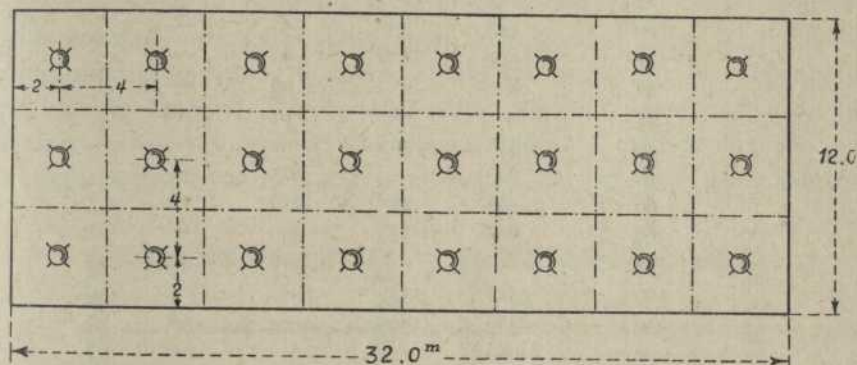


Fig. 3

Disposició de les làmpades per a l'il·luminat general d'una sala.

padres es disposen en el centre de quadrats, o de rectangles de costats semblants, de dimensions convenientes. En la *il·luminació específica* es disposen les làmpades damunt les màquines i llocs d'operació; quan els aparells de llum específica són emprats per suplementar una instal·lació general deficient, el sistema s'anomena combinat.

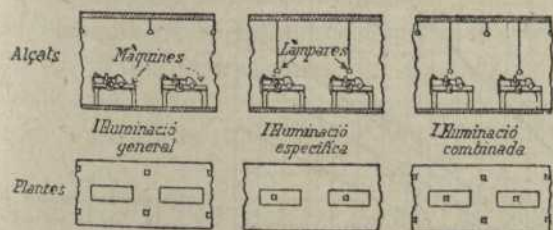


Fig. 4

Diferents sistemes d'il·luminació industrial

Les làmpades més correntment utilitzades en instal·lacions industrials són del tipus de filament de tungstèn en atmosfera de gas, conegudes vulgarment com làmpades de mig watt, les quals tenen nombrosos avantatges damunt les altres classes de làmpades elèctriques: d'arc, de vapor de mercuri, de filament de carbó, etc.

Per als càlculs d'il·luminació industrial cal conèixer la potència lumínica de les làmpades emprades, en lúmens; a continuació s'indica per a les de carbó i de tungstèn de diferents consums.

Potència de les làmpades en lúmens¹⁰

Watts	Tungstèn		Carbó	
	100-130 volts	200-130 volts	100-130 volts	200-130 volts
10	66	—	—	—
15	113	—	—	—
20	157	—	50	—
25	210	176	84	—
30	—	—	96	—
35	—	—	—	84
40	336	303	—	—
50	—	—	175	—
60	506	455	210	170
100	868	758	349	—
120	—	—	419	341
150	1313	1137	—	—
250	2450	1895	—	—
400	4080	—	—	—
500	5100	4140	—	—

L'altura de muntatge dels llums és mesurada des del pla de treball i aquest es considera generalment situat entre 0.75 i 1.0 metre damunt del paviment. En la majoria de casos, per a altures normals de sostres, l'alçada de suspensió del focus de llum varia entre 2.30 i 3.0 metres més amunt del pla d'utilització. Ja fixada l'alçada de les làmpades, tenint en compte l'es-

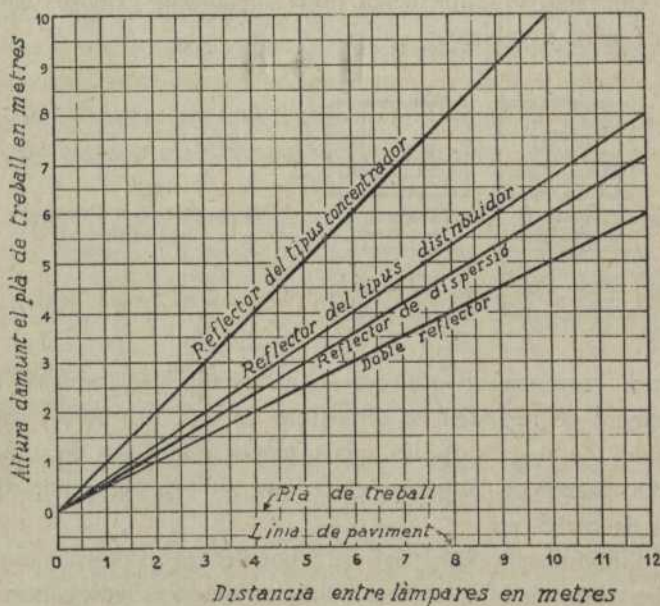


Fig. 5
Característiques que donen la relació entre l'altura i separació de les làmpades, per a diferents tipus de reflectors

¹⁰ Treballant a la tensió normal, sota rendiments standard.

tractura i proporcions de l'edifici, pot trobar-se en la fig. 5 la distància de separació entre elles, segons el tipus de reflector adoptat ¹¹.

Si hom suposa, per exemple, que l'altura de muntatge més convenient de les làmpades del local industrial representat en la fig. 3, és de 2.5 metres sobre pla de treball, de la fig. 5 es dedueix que emprant un reflector del tipus de dispersió, la separació corresponent de les làmpades resulta ésser 4.0 metres aproximadament. Hom dividirà l'àrea total de la nau en quadrats de 4 metres de costat i col·locarà una unitat en el centre de cada quadro. Dividint, llavors, el nombre total de watts necessaris per illuminar la nau pel nombre d'unitats es tindrà la potència lluminosa de les làmpades requerides. Aquest és el *mètode de watts per metre quadrat*.

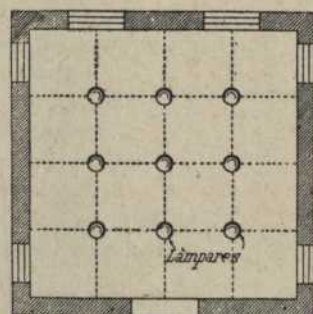


Fig. 6
Distribució incorrecta de les làmpades

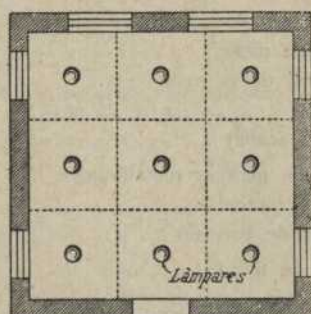


Fig. 7
Distribució correcta de les làmpades

En el *mètode del flux de llum* es parteix per al càlcul, de la intensitat lluminosa en bugies-metre, que per a cada indústria determinada s'indica en la taula que segueix. La constant de la fórmula és el rendiment d'utilització de la llum i la seva valor depèn de la naturalesa i color del sostre i parets de l'edifici.

Intensitats d'illuminació i consum específic per a diferents treballs

Indústria	Intensitat en bugies metre ¹¹	Watts aprox. per m. q.
Aparadors	100 a 200	20 a 20
Arsenals	30	6
Ascensors i muntacàrregues	20	4

¹¹ Com més distribueixen la llum els reflectors, més baixos, però més separats poden col·locar-se; els del tipus concentrador han d'anar més enlaire i més pròxims entre ells; són emprats en sales de gran altura.

¹² O lúmens per metre quadrat.

Indústria	Intensitat en bugies metre	Watts aprox. per m q.
Automòbils:		
Fabricació	100	20
Garatge	30	6
Caixes de cartró o paper	50	10
Cambres frigorífiques	80	16
Centrals elèctriques	35	7
Confiteries	50	10
Ebanisteria fina	80	16
Emballatges	50	10
Enquadernacions	60	12
Fàbriques de gèneres de punt	50	10
Fàbriques de molles	30	6
Fàbriques de paper:		
Confecció de la pasta	40	8
Premsat	60	12
Tallat i acabat	80	16
Fàbriques de planxes metàl·liques:		
Treballs corrents	60	12
Treballs de precisió	100	20
Fàbriques de teixits:		
Cotó	40 a 80	8 a 16
Llana	60 a 120	12 a 24
Seda	60 a 100	12 a 20
Filatures de cotó:		
Batans i obridors de bales	40	8
Cardes i preparació	60	12
Continues de filar	60 a 80	12 a 16
Forja	80	16
Forns	75	15
Fundicions:		
Treballs corrents, neteja	60	12
Modellatge, nuclis	90	18
Galvanoplàstia	40	8
Impremta:		
Màquines de tallar, perforar i doblagar	100	20
Composició de tipus	120	24
Monotype, Linotype	140	28
Manufactures de calçat:		
Màquines de treball ordinari	60	12
Formes, cosit, vorejat, etc.	100	20
Manufactures de cuiros:		
Neteja, estiratje i curtició	40	8
Tall i descarnat	60	12
Acabat	80	16

Indústria	Intensitat en bugies metre	Watts aprox. per m. q.
Manufactura de guants:		
Prensats	70	14
Tall i inspecció	90	18
Acabat	140	28
Manufactura de llibres:		
Operacions corrents	40	8
Màquines de tallar, doblegar i relligar	50	10
Acabat	80	16
Molls i docs	25	5
Sales de dibuix	100	20
Tallers de confecció:		
Tall, costura a mà	80	16
Màquines de cosir, inspecció	120	24
Tallers de gravats	100	20
Tallers de maquinària:		
Treballs corrents	80	16
Treballs de precisió	125	25
Tallers de pintura:		
Anuncis, fustes i metalls	60	12
Automòbils i maquinària	100	20
Tintorereries	85	17
Treballs de joieria	100	20
Treballs d'oficina	60	12

La fórmula a aplicar per tenir el flux lluminós convenient és:

$$\text{Lúmens} = \frac{\text{àrea (metres quadrats)} \times \text{Intensitat (bugies-metre)}}{\text{Constant}}$$

i expressant-la algebricament:

$$F = \frac{S \times E_m}{C} \text{ lúmens}$$

d'on

$$S = \frac{F C}{E_m} \text{ metres quadrats}$$

i

$$E_m = \frac{F C}{S} \text{ bugies-metre}$$

En les anteriors fórmules, F representa el flux total en lúmens, emès per tots els focus de llum que il·luminen la superfície de treball; S l'àrea il·luminada en metres quadrats; E_m la intensitat d'il·luminació mitjana en bugies-metre, en tota la superfície del pla estudiat, i C la constant d'il·luminació, depenent de la natura de sostre, parets i aparells emprats. Les valors de C són donades com segueix ¹³.

Rendiments d'utilització

Coeficient de reflexió del sostre:	Color clar, 70 %			Color menys clar, 50 %	
	Clares 50 %	Menys clares 25 %	Fosques 20 %	Menys clares 35 %	Fosques 20 %
<i>Equip d'il·luminació emprat:</i>					
Cristall prismàtic, llum directa	65	61	59	58	56
	40	37	36	36	35
Opal clar, llum directa	57	53	50	48	46
	33	28	27	26	24
Opal dens, llum directa	61	58	57	56	53
	40	35	34	34	32
Reflector d'acer esmaltat o d'alumi- ni, llum directa	70	67	65	67	65
	46	42	39	42	39
Reflector concentrador d'acer esmal- tat, llum directa	57	55	54	54	53
	39	36	35	35	34
Reflector argentat, llum totalment in- directa	40	38	36	27	26
	24	21	20	15	14
Opal clar; llum semiindirecta	47	45	43	39	35
	30	25	24	22	20
Opal dens, llum semiindirecta	43	41	40	31	30
	27	25	22	18	17
Globus completament clos	46	42	40	38	35

Altres mètodes per calcular l'il·luminat artificial d'interiors, són el mètode d'absorció de llum i mètode punt per punt. Tots aquests sistemes donen únicament valors aproximades, però més que suficients en la pràctica.

Com a demostració de l'economia que pot obtenir-se en una fàbrica científicament il·luminada, esmentarem el cas de la fàbrica representada en la figura 8. Es tractava d'una sala equipada amb grans làmpades d'arc, en la qual per la bona marxa de la manufactura, la instal·lació primitiva va

¹³ CRAVATH, *Illuminating Engineering Practice*.

èsser suplementada amb unes 50 làmpades disposades damunt les màquines. La instal·lació projectada racionalment amb làmpades de tungstèn va

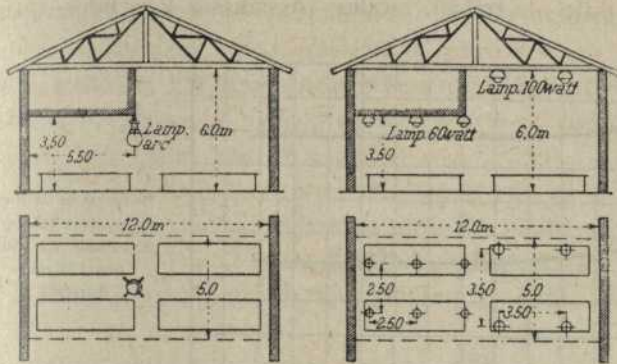


Fig. 8
Comparació de dues instal·lacions amb làmpades d'arc i de tungstèn en una indústria

fer completament innecessària aquella mesura. La distribució de la llum millorà intensament. En la taula següent ¹⁴ poden comparar-se els diferents resultats obtinguts:

Comparació de dos sistemes d'il·luminació industrial

Característiques	Làmpades d'arc a 220 volts	Làmpades de tungstèn a 110 volts
Nombre total de làmpades requerides	12 ¹⁵	120
Altura de les làmpades sobre el sòl, metres	3.50	3.50—6.0
Làmpades per secció	1	10
Watts per làmpada	750	60—100
Àrea d'una secció (12 x 5 mts) en metres quadrats	60	60
Watts per metre quadrat	12.5	12.5
Cost anual per igual il·luminació, pessetes	9850	3280

Una qüestió que cal tenir molt en compte si hom vol que una instal·lació acurada de llum doni el seu màxim rendiment, és la reducció de la intensitat lluminosa, molt més important en establiments industrials que en edificis d'altre mena (fig. 9). La disminució de llum a causa de la pols varia amb els diferents tipus de reflectors emprats, segons es desprèn de les gràfiques de la figura 10. Tanmateix, les unitats d'il·luminació requereixen una atenció constant per tal de mantenir-les en un estat de neteja perfecta. També és precís substituir oportunament les làmpades esgotades o bé envellides ¹⁶.

¹⁴ Del follet en preparació de l'autor: *Il·luminació Industrial*.

¹⁵ En cap valor d'aquesta columna no va inclòida la il·luminació suplementària.

¹⁶ Hom considera que una làmpada és *envellida* quan la seva potència lluminosa és inferior al 80 per cent de la seva valor inicial; llavors ha, doncs, d'ésser canviada per una de nova.

En nombroses instal·lacions actuals d'illuminat industrial es disposa un servei de *llum pilot* o auxiliar a l'objecte d'illuminar les principals dependències de la fàbrica—sales de treball, escales, passadissos i sortides—quan

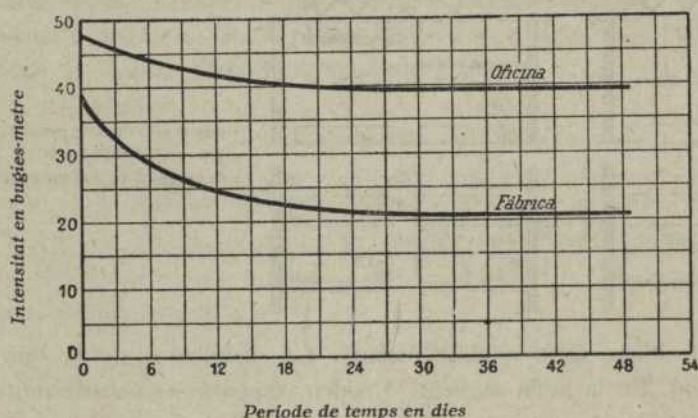


Fig. 9
Reducció de la llum útil a causa de la pols dipositada en dues instal·lacions diferents.

a causa d'un accident qualsevol manca el corrent de les làmpades generals. La intensitat lluminosa subministrada per la instal·lació pilot¹⁷, no és suficient per al treball normal, car el nombre de làmpades és, generalment, de cinc a deu vegades més petit que el de llums general.

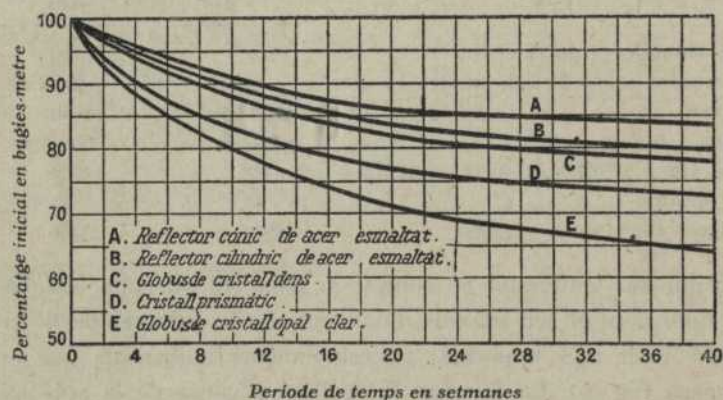


Fig. 10
Reducció de llum a causa de la pols dipositada.

En quant als tipus de reflector emprats, responen a les diverses necessitats de les manufactures industrials. Les làmpades sense pantalla o reflector han d'evitar-se en tots els casos, per tal com llurs efectes enlluernadors són molt perjudicials i fins perillosos quan es mantenen en el camp visual. Demés, emprant reflectors convenients, la llum útil enviada al pla de treball augmenta fins un 62 per cent, respecte un sistema de làmpades nues de la mateixa potència. En sales de grans dimensions és adoptada

¹⁷ Sovint alimentades per una bateria d'acumuladors o altre font de reserva.

universalment la llum directa; no gensmenys, per obtenir una bona difusió en naus de baix sostre i colors clares és adequada la instal·lació d'un sistema semiindirecte. Per a l'illuminat directe existeixen diferents reflectors de característiques satisfactòries: de planxa d'acer esmaltada, aluminats, de cristall, etc. Els segons són generalment de porcellana o cristall. Els reflectors de planxa esmaltada combinen l'elevat poder reflectant de la porcellana amb l'alta resistència mecànica de l'acer. La superfície d'esmalt de porcellana absorbeix per terme mig un 35 per cent de la llum incident, tot i que aquesta valor varia bastant amb la qualitat de l'esmalt. Aquests reflectors—figs. 11 i 12—tant per llur rendiment com per llur economia de cost i manteniment, són els més emprats en sales industrials.

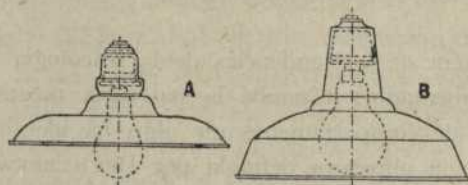
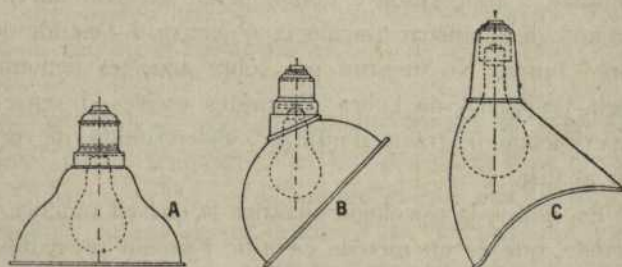


Fig. 11
Reflectors de tipus de llum
distribuída

Fig. 12
Reflectors de tipus de llum
concentrada i d'angle



Hom veu que amb una despesa poc important pot arribar-se a intensitats lluminoses elevades, obtenint una sèrie d'avantatges que amortitzen en curt període el cost del sistema. La sobre il·luminació de les fàbriques ha permès als nordamericans arribar a rendiments extraordinaris dels obrers i maquinària llurs. Potser en fan un gra massa, car sovint disposen d'intensitats lluminoses de 40 i 50 bugies-peu¹⁸. En canvi, la major part de les nostres fàbriques treballen materialment a les fosques; la resta tenen llum un xic més abundant, però mal distribuïda. Només un 3 o 4 per cent de les indústries de Catalunya posseeixen un il·luminat racional i satisfactori. Això repercuteix, naturalment, en la quantitat i qualitat dels productes elaborats. Tanmateix, avui, la bona il·luminació és una necessitat industrial.

DAVID B. ALOY

¹⁸ De 430 a 540 bugies-metre o lúmens per metre quadrat aproximadament.