

# CIÈNCIA

---

ANY VI

VOL. V

NÚM. 40

REVISTA CATALANA

DE

CIÈNCIA I TECNOLOGIA

20 DE

MARÇ

DE 1931



## METAL·LOGRAFIA I RAIGS X

### PRELIMINARS

A mesura que la indústria exigeix alleugeriment dels materials emprats en tota mena de construccions, van presentant-se problemes nous de resistència mecànica que abans no era necessari proveir. Això és molt més obirador en les indústries metallúrgiques. Els tècnics, podríem dir, productius d'aquesta gran branca industrial, coneguda genèricament per *metallúrgia*, no es cansen d'assenyalar als tècnics de laboratori noves condicions necessàries imposades per les altres indústries que són la clientela de la metallúrgica. I les noves condicions demanades als productes moderns no-més poden ésser ateses amb la creació de noves al·ligacions i, també, amb l'aplicació rigorosa i metòdica de procediments de control i d'anàlisi als productes siderúrgics i metallúrgics resultants.

És curiós de constatar que els mateixos procediments primitivament aplicats al reconeixement i selecció de productes metàl·lics, es van estenent gairebé insensiblement i progressivament a la inspecció d'altres productes. És sabut de tothom que, en matèria d'investigació de productes, el primer aparell *visor* aplicat a les necessitats industrials ha estat, ja fa temps, el microscopi. És, també, remarcable que els assaigs que es feien per mitjà del microscopi solien consistir simplement en el reconeixement d'algunes superfícies de fractura, sense fer esment de les condicions en què es feia



la investigació o en què tenien lloc les variacions observades d'una sessió a l'altra d'una mateixa prova microscòpica de poc augment.

Calgué introduir en els assaigs de metallúrgia la sistematització de resultats i l'aplicació rigorosa de condicions observades en assaigs anteriors per a formar taules i constituir mètodes que permetessin no repetir, com a cosa nova, treballs ja efectuats en èpoques pretèrites. De la metodització en els treballs d'assaigs i la entesa entre els diferents investigadors al servei de grans empreses siderúrgiques, fent l'intercanvi requerit per a un avenç de conjunt en aquest ordre de coses, naixeren els primers reculls de normes, les quals—constantment enriquides amb noves dades pràctiques i deduccions teòriques confirmades després en els assaigs posteriors—han permès eixamplar considerablement el camp d'acció del microscopi, principal element de treball d'investigació, associant-lo a la cambra fotogràfica (fig. 1). D'això en resultà un mètode d'investigació d'estructures metàl·liques, conegut pel nom de *metallografia*, amb el qual disposem d'un sistema *gràfic* de reconeixement de metalls.

Hem alludit en un paràgraf anterior la *microscòpia de poc augment*. Aquest mètode, el primer en ordre cronològic, consisteix a examinar les fractures de barretes metàl·liques—nomenades provetes—, preparades especialment i sotmeses a les proves mecàniques habituals de tracció, compressió i flexió. Generalment, bastava un examen microscòpic en aquestes condicions per a dictaminar la aptesa o no aptesa del material considerat. Hom pot comprendre sense esforç, que el procediment era netament empíric, i, si bé féu serveis excel·lents en els treballs siderúrgics de fa quaranta anys, ara està en desús, per insuficient, com a procediment de laboratori.

Actualment, està generalitzada la *metallografia d'alta potència*<sup>1</sup>, la qual combina poderosos mitjans d'investigació, tals com els microscopis de molts augments, la placa fotogràfica ultrasensible, els productes químics de preparació de proves i la utilització científica de la llum monocromàtica de longitud d'onda ben determinada i adequada a l'assaig a fer (fig. 2 i 3). Els avenços assolits modernament en el domini de les ondes lluminoses, amb la producció fàcil i segura de qualsevol longitud d'onda (o color), i l'estabilitat dels sistemes òptics ultrapotents, permeten d'emprar en la pràctica diària els mètodes d'observació que no haurien estat possible vint anys enrera. Cal remarcar, però, que la metallografia, en les dues modalitats alludides—petit i gros augment—, només és apta per a examinar *estructures* metàl·liques (fig. 5), i, en moltes ocasions, també estructures d'altres materials; però no és adequat el mateix procediment a l'examen de peces acabades,

<sup>1</sup> Vegi's CIENCIA, núm. 10, nov. 1926.



en les quals pot haver falles internes que menacin la seguretat del servei a què van destinades. En aquest últim cas, es fa indispensable l'exàmen radiogràfic que ens proposem estudiar en el present escrit.

#### METAL-LOGRAFIA I MICROGRAFIA

La metallografia—com el seu nom expressa clarament i tal com havem examinat abans—té per objecte el coneixement complet dels metalls i llurs al·ligacions. Hom sap que en les al·ligacions metàl·liques no entren solament metalls, car moltes vegades—i en la moderna siderúrgia és freqüentíssim—s'afegeixen cossos no metàl·lics, o que no es consideren metalls, per a donar al producte qualitats especials o propietats no tingudes naturalment en

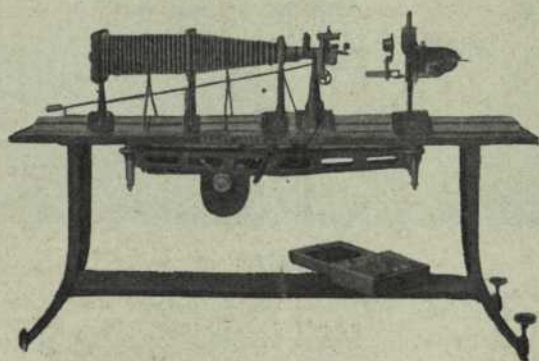


Fig. 1

Equip micrometal·logràfic Leitz amb cambra fotogràfica

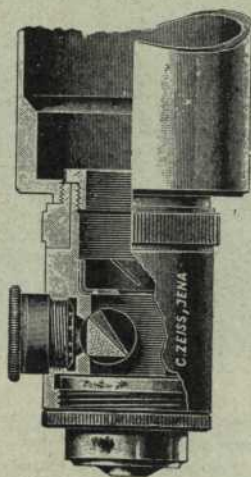


Fig. 2

Un tipus d'il·luminador prismàtic

els metalls simples o combinats ordinaris. D'aquesta guisa, veiem que al costat dels metalls trobem el fósfor, sofre, oxigen, carboni, etc., i, dins de la tècnica de l'acer, els metalls rars: crom, níquel, tungstèn i molibdèn.

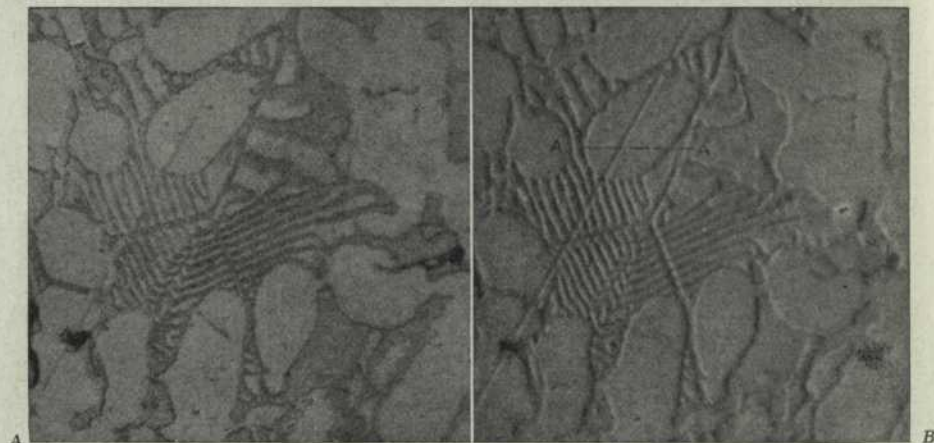
El mètode metal·logràfic cerca, principalment, l'obtenció de *micrografies*, on es pot estudiar còmodament i sense afadigar l'ull aplicat al microscopi, les estructures de les mostres en assaig. Amb aquest procediment, hom pot predeterminar el resultat que es pot esperar de cada mena de metalls i al·ligacions i àdhuc formular al·ligacions noves que responguin plenament a qualsevol condició imposada per la pràctica.

Sembla que el primer d'aplicar el microscopi a l'examen dels metalls fou l'anglès H. Cl. SORBY (1863); però, verament, l'èxit d'aquest mètode



d'assaig correspon a investigadors posteriors d'Alemanya i de França. A. MARTENS publicà l'any 1878 el primer comunicat sobre aquesta matèria i indicava directives que després han assolit plena confirmació i, pot dir-se, són el punt de partida de la metallografia moderna. Després seguiren E. HEYN<sup>2</sup>, OSMOND, ROBERTS-AUSTEN, ARNOLD, ROOZEBOOM i tants d'altres que seria prolix enumerar ací.

La metallografia considera les al·ligacions com a *dissolucions de metalls* a les quals poden aplicar-se, en certa manera, les lleis de les dissolucions ordinàries, si bé són més complicades per raó de la influència més decisi-



Fg. 3

Demostració de la influència de la il·luminació en la correcta obtenció de les micrografies. A, mostra d'un acer compost sota la il·luminació vertical. B, la mateixa mostra amb il·luminació inclinada 45°



va, sobre els compostos metàl·lics, dels tractaments tèrmics que modifiquen, profundament, en molts casos, les estructures de les al·ligacions. Cal fer esment ara que rarament es considera en la pràctica un producte metallúrgic monometàl·lic i, més freqüentment, hom troba a considerar els metalls compostos esmentats amb el nom genèric d'al·ligacions o dissolucions. Justament per aquesta raó pren gran importància en la indústria actual el procediment metallogràfic.

La pràctica de la metallografia és, més que res, de meticulositat. Cal preparar les mostres mecànicament per mitjà del *desbastat* i *poliment*; i químicament, emprant diversos àcids per tal d'accentuar el *relleu* del com-

<sup>2</sup> E. HEYN-O. BAUER: Metallografia, Manuales Técnicos Labor.—Barcelona, 1930



posant que més interessa a l'assaig del moment. Després, encara, hom sotmet les proves a un tractament tèrmic—dit *recuït*—que és l'operació més delicada de tot el procediment.

El desbastat i poliment de proves s'acostuma fer amb moles apropiades (fig. 4), en duresa i dimensions, mogudes a velocitat angular variable, adeqüada a cada mena de mostres a tractar. Hi han moles composades simplement d'un disc de fusta dura sobre el qual s'enganxa paper d'esmeril de gra convenient, triat entre les vuit graduacions habitualment emprades. Hom comença l'operació de desbastat amb el disc granat, al qual s'aplica la mostra fent-hi pressió amb la mà. Després d'un cert temps, variable d'un a trenta minuts, hom passa la mostra a discos successivament més fins, fins que hom considera prou desbastada la superfície elegida per a l'examen. Aquesta operació cal controlar-la periòdicament examinant-la amb un microscopi de poc augment.

Un cop enllestit el procés de desbastat, hom passa al poliment, car és necessari assegurar una superfície molt llisa—quasi de mirall—per tal de fer possible el tractament químic correcte. El poliment s'efectua, generalment, per procediments semblants als emprats en els tallers d'òptica per a la preparació de superfícies de cristall. A l'efecte, es preparen discos verticals amb drap fi impregnat de roig de cólcotar, alumina, etc., i aigua. La velocitat de poliment és superior a la de desbastat; generalment es fixa entre 1.000 i 1.200 rev. p. m. La pressió de poliment és, naturalment, més lleugera, i cal tenir molt de compte a no perllongar el temps de poliment més enllà de l'estrictament necessari, sobretot en mostres que tinguin components de duresa molt diferent. Cal considerar el poliment acabat quan la superfície de la mostra apareix completament brunyida. La matèria polimentadora adherida a la mostra es treu amb aigua i s'asseca després amb alcohol.

Per a obtenir micrografies correctes, cal tenir present que l'estructura a examinar aparegui clarament distinta, principalment en la coloració peculiar dels components de la mostra. La mostra correctament preparada com s'ha dit, cal sotmetre-la, encara, a l'operació de *relleu* (fig. 5) mecànic o químic. El relleu mecànic s'aconsegueix durant el poliment. Moltes vegades s'obté un relleu convenient passant la mostra—després de polida—sobre d'un disc horitzontal de goma i fent lleugera pressió amb la mà. Aquesta operació és fàcil de fer i pot vigilar-se còmodament àdhuc sense lupa. L'objecte del relleu és de facilitar el contrast de llum damunt de la mostra per fer possible la visió directa en les millors condicions de visió de l'operador o bé l'obtenció de micrografies (fig. 3). El relleu químic s'aconsegueix simplement aplicant damunt la mostra polida com s'ha dit,



agents químics molt diversos: àcid pícric, nitrat amònic, extracte de regalèsia, àcid clorhídric, àcid nítric, etc., segons les mostres a examinar; i per a la investigació del carbó, s'empra clorur cuprós amoniacal. Aquests reactius no poden emprar-se indistintament. Cal tenir en consideració no solament la composició coneguda o presumible de la mostra, sinó, també, la mena d'investigació a fer. És essencial no deixar actuar els reactius més temps de l'estrictament necessari; altrament, hom pot malmetre en pocs moments la feina de preparació de desbastat i poliment d'algunes hores. La pràctica i els excel·lents tractats moderns de metal·lografia ensenyen la



Fig. 4

Màquina polidora de mostres metal·logràfiques. La preparació de mostres també es indispensable en la tècnica dels raigs X, si cal considerar estructures

meticulositat necessària en aquesta tècnica. En moltes ocasions, també és emprat el procediment electrolític per a granular la superfície polida de les mostres metal·logràfiques.

Una de les qüestions més delicades de l'examen metal·logràfic—com ja hem esmentat més amunt—és la bona disposició de la llum emprada i, sobretot, la longitud d'onda (o color) escollida en cada cas. Generalment, hom emprava la llum artificial per la major comoditat d'aplicar-la al punt més convenient sense intervenció de gaires desviacions, en el cas que hom no pugui treballar prop de finestres il·luminades per la llum solar. El problema de la il·luminació de les mostres metal·logràfiques no és pas senzill. Cal atendre a una munió de detalls solament resolts pel concurs de les cases constructores dels microscopis—i d'altres sistemes òptics auxiliars i dispositius mecànics de fixació i centratge de les mostres preparades—, car, per motiu



de les fortes ampliacions de la imatge microscòpica, es fa necessària una il·luminació molt potent i gran justesa d'enfocament; d'altra manera, els resultats assolits són inservibles o mediocres.

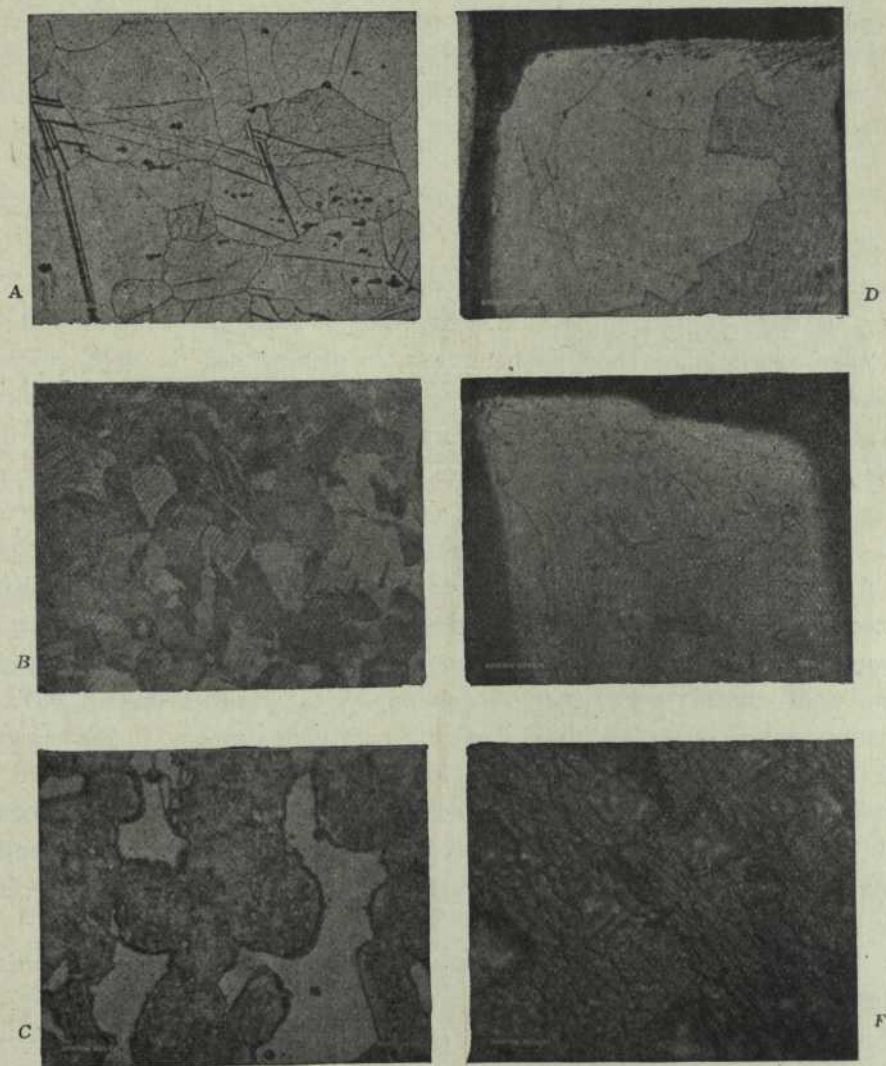


Fig. 5

A, Ferrita amb línies de lliscament. B, Austenita d'un acer amb 25 % de níquel. C, Acer al crom, inoxidable. D, Secció d'una planxa estampada no tractada. E, Secció d'una planxa estampada recuita. F, Textura de coure fortament atacat per l'àcid.

No cal dir que l'obenció de micrografies requereix, per altra part, una seguretat extraordinària en les pràctiques fotogràfiques; puix de res ser-

viria l'acurada preparació de les mostres, si després no quedava atesa la condició indispensable del treball fotogràfic ben fet.

El procediment metal·logràfic ordinari presta excel·lents serveis com a mitjà de control de les composicions metàl·liques, però no és apte—com ja hem esmentat abans—a la revisió de peces acabades. A continuació veurem el procediment que fa possible aquesta revisió.

#### ELS RAIGS X

Abans d'explicar com pot fer-se el control d'una peça metàl·lica acabada pel procediment radiològic, cal primer comprendre quelcom de la naturalesa dels raigs X i de llur producció.

Els raigs X són, en essència, una *mena de llum* que no actua sobre l'òrgan visual humà. Són de naturalesa ondulatoria com la *llum visible*, però de longitud d'onda extremadament curta. Per tal de tenir una idea d'aquesta petitesa, només cal considerar que els límits de l'espectre visible estan compresos entre 0,00008 cm. (llum vermella) i 0,00004 cm. (llum verda); i que la extensió o espectre dels raigs X va des de 0,000002 cm a 0,00000001 cm i menys. Aquestes xifres compostes de tants zeros són difícils de retenir i incòmodes de manejar. Per aquesta raó, el físic suec ANGSTRÖM establí la unitat de mesura per a ondes tan petites; aquesta unitat nova és la 1/100.000.000 part del cm o sigui  $10^{-8}$  cm i es coneix per *unitat Angström*, abreujadament: U. A. D'aquesta manera, les longituds d'onda de la llum visible i dels raigs X són fàcils d'expressar, així: longitud d'onda de la llum vermella 0,00008 cm = 8000 U. A.; de la llum verda 0,00004 cm = 4000 U. A.; dels raigs X: entre 200 i 0,1 U. A.—Vegem, ara, si podem tenir una idea aproximada de la naturalesa dels raigs X, explicant el procés de llur descobriment.

En els primers anys del segle XIX, quan els físics d'aleshores (i més que físics, filòsofs de l'escola de DESCARTES i de BACON) estaven enfervorits pel seguit de descobertes en el camp de l'electricitat: pila elèctrica, electroimants, accions químiques del corrent elèctric, etc., començaren d'estudiar amb metodització tot el relatiu a l'electricitat estàtica i, més principalment, la descàrrega elèctrica dels condensadors, continuant la sèrie d'experiments que es duïen a terme des del descobriment del condensador, conegut aquest principalment pel nom de *botella de Leyden* per haver estat en aquesta ciutat holandesa on l'abat MUSSCHENBROECK el



descobrí (o redescobrí<sup>3</sup>) l'any 1746, un any després del naixement de VOLTA, inventor de la pila elèctrica. Un dels físics del segle XIX que més treballà en aquest afer fou DAVY (1822), qui estudià la descàrrega elèctrica en l'espai buit, experiències que reprengué PLÜCKER (1858) en gran escala. Aquests investigadors posaven dins d'un recipient de vidre (un tub cilíndric), dos fils o plaques metàl·lics enfrontats i feien el buit al recipient. Aleshores, connectaven els extrems exteriors dels fils metàl·lics a una màquina electrostàtica de gran potencial i provocaven la descàrrega en les puntes o plats tancats al recipient de vidre. Quan hom tractava de provocar la descàrrega a la pressió normal de l'aire (760 mm de columna mercurial) mai no s'assolia, amb les màquines elèctriques d'aquell temps, una guspira entre les puntes metàl·liques o elèctrodes. Prosseguint les experiències, hom veié que, a mesura que disminuïa la pressió del gas contingut en el recipient, anaven produint-se fenòmens lluminosos interessants. A la pressió de 50 mm de mercuri, apareixia a l'interior del recipient una radiació blavenca molt feble, que partia dels elèctrodes. A la pressió de 10 mm s'hi veia una banda de llum violeta, estreta i, forçant el buit fins a 1 mm de pressió, tota l'amplada del recipient s'omplena de claror violada. Aquest fenomen és el que presenten els tubs de GEISLER, si bé de diversa coloració que depèn de la naturalesa del gas contingut<sup>4</sup>).

Un examen detingut de la lluminositat del gas enrarit, travessat pel corrent elèctric, fa veure que la part lluminosa prop de l'elèctrode negatiu (dit *càtoode*) és blava i de poca extensió, i que la de l'elèctrode positiu (dit *ànode*) és violeta i de gran extensió; i que, entre una i altra zona, hi ha una separació fosca. Forçant aleshores el buit, la zona violeta es destria, com si es condensés, i forma bandes alternativament lluminoses i fosques transversalment a l'eix dels elèctrodes enfrontats i a distàncies iguals fins arribar a la zona fosca entre les dues coloracions, zona que es fa més gran i rep aleshores el nom d'*espai fosc de Faraday*. Si en aquestes circumstàncies hom fa més fort el buit o enrariment del gas contingut, desapareix tota lluminositat interior però, com observà per primera vegada HITTORF l'any 1869, el vidre del recipient es torna fluorescent, enfront

<sup>3</sup> Els estudis contemporanis sobre la història antiga, principalment de la civilització faraònica i caldaica, fan creure que aleshores coneixien molts dels procediments elèctrics que fem actualment. Sembla també que la monopolització d'aquests coneixements per part dels sacerdots d'aquell temps, coneixements que eren tinguts secrets i considerats de màgia, ha fet que es perdessin les descobertes fetes ja en aquelles reculades edats en matèria d'electricitat. Per tant, no havem de regatejar cap mèrit als descobridors dels nostres temps, encara que, considerada en conjunt la història de les diverses civilitzacions, resultin ara algunes *reinvencions*.

<sup>4</sup> Tothom pot contemplar avui pels carrers de Barcelona la col·locació abusiva dels rètols lluminosos amb aquesta mena de tubs.



mateix del càtode, amb color vert. GOLDSTEIN (1876) estudià aquest fenomen i trobà que la fluorescència de les parets de vidre era produïda pels raigs que partien del càtode—i per això hom els coneix pel nom de *raigs catòdics*—, els quals presenten la particularitat de sortir quasi perpendicularment del platet que forma el càtode i es propaguen en línia dreta. CROOKES comprovà que aquests *raigs* poden ésser interceptats per un cos opac ordinari i que darrera d'ell produeixen ombra talment com ho faria un raig de llum ordinària. Mitjançant un mirall concav, els raigs catòdics poden concentrar-se en un punt i intensificar, per tant, llur ener-

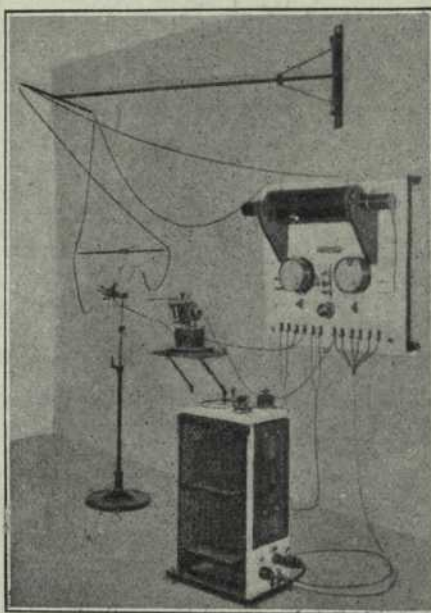


Fig 6  
Instal·lació (de bobina) de  
raigs X construïda per  
AEG l'any 1902

gia <sup>5</sup>. Aviat hom reconegué que aquesta nova mena de raigs posseïen energia fotoquímica i que podien ésser desviats de llur camí rectilini per l'acció d'un imant o d'un camp elèctric. CROOKES els reconegué també poder mecànic i ho demostrà fent giravoltar a l'interior del recipient una roda de paletes col·locada de forma adequada. Després, hom ha reconegut que aquesta acció mecànica dels raigs catòdics era produïda per efectes tèrmics provocats pels raigs catòdics. Igualment ha estat comprovat que aquests raigs es produeixen qualsevol que sigui la posició de l'ànode i

<sup>5</sup> Dr. Richard HERTZ: "Röntgenstrahlen", vol. 950 de la Col·lecció Göschen.



que, no obstant, es propaguen en línia dreta i sempre normalment a la superfície del platet del càtode.

L'investigador francès PERRIN demostrà palesament que els raigs catòdics eren corpuscles carregats d'electricitat negativa. Un altre investigador, LENARD, proseguint els experiments de HENRICH HERTZ sobre la penetrabilitat de fulles metàl·liques pels raigs catòdics, assolí l'any 1894 estudiar els raigs en l'aire lliure, fent-los travessar una fulla d'alumini d'algunes mil·lèsimes de mil·límetre de gruix que tapava una finestrella feta en la paret de vidre. Aquesta finestrella és coneguda per *finestrella de Lenard* i les ampolles així preparades reben el nom de *tubs de Lenard*. Els raigs catòdics són ràpidament absorbits per l'aire, si bé això depèn de la tensió aplicada entre elèctrodes, car la *penetrabilitat* o facultat dels

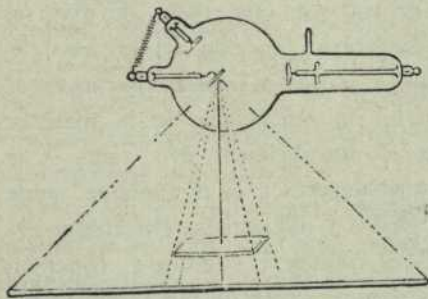


Fig. 7

Esquema del tub de gas emprat amb l'anterior instal·lació i posició de la radiografia. La imatge de la peça radiografiada queda a la placa fotogràfica (compari's amb la figura 13)

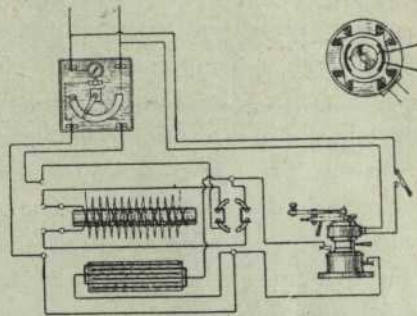


Fig. 8

Esquema simplificat de l'aparell de la figura 6. Noti's l'interruptor rotatori, a la dreta, que feia possible el relatiu bon funcionament de tot el sistema

raigs catòdics de propagar-se depèn directament del voltatge aplicat entre càtode i ànode.

KROOKES fou el primer a donar una hipòtesi que aclaria el misteri que envoltava aquesta mena de raigs. Ja hem dit que PERRIN demostrà que eren partícules negatives. KROOKES posà de manifest que es tractava de molècules de gas carregades d'electricitat, que sortien del metall que formava el càtode. Modernament, però, hom ha trobat que els raigs catòdics són càrregues negatives en un estat particular de vibració, i sembla que estan desproveïdes de matèria. Sembla prudent continuar les observacions sense fixar idees que noves descobertes poden aterrar encara, com tantes altres vegades. El fet important és que els raigs catòdics són produïts amb un camp elèctric molt intens i que aquests raigs surten del càtode.



Un altre físic alemany, Wilhelm RÖNTGEN, experimentant amb el tub de Lenard, en desembre de 1895, trobà que els raigs catòdics provocaven una altra mena de raigs quan xocaven amb un cos metàl·lic i vegé que d'aquests raigs es podia treure un profit pràctic per a la humanitat. Röntgen observà que el preparat de platí-cianur de bari s'illuminava fortament en les immediacions del tub de Lenard, si els raigs catòdics no incidien directament sobre el preparat; és a dir: si prèviament els raigs catòdics incidien sobre una part metàl·lica prop del susdit preparat. Prosseguint els experiments d'aquesta guisa, pogué veure que la fluorescència era encara visible a les fosques, àdhuc després que els raigs nous havien travessat un llibre o un bloc de fusta col·locat entre el tub i el preparat fluorescible. No pogué, aleshores, fixar la natura de la nova radiació o "agent", com ell el nomenà per primera vegada, i per aquest motiu els donà el nom de *raigs X*, tal com es coneixen encara en l'actualitat.

La propietat que tenen els raigs X de travessar els cossos de diverses composicions i d'impressionar la placa fotogràfica en una relació que depèn del gruix dels cossos travessats, féu ja pensar al mateix RÖNTGEN la possibilitat d'aplicar la nova radiació a les investigacions de la matèria. Aleshores, però, hom aplicà de seguida el descobriment dels raigs X a finalitats de diagnòstica clínica, i poc temps després a la terapèutica, sense treure'n el partit possible en els treballs físics i industrials. Ha calgut esperar fins ara, que el maneigs del raig X és còmode i, ensems, es coneixen a bastament mitjans de protecció per als manipuladors de tan terribles radiacions, que destrueixen els teixits humans amb molta facilitat.

Com hem dit més amunt, el descobridor dels raigs X observà que els raigs catòdics calia fer-los topar amb una superfície metàl·lica per a provocar la nova radiació i a l'efecte posà damunt del càtode un elèctrode amb la superfície extrema inclinada uns  $45^\circ$  respecte a l'eix càtode-ànode, per tal de fer sortir, a l'aire lliure i a través de la paret de vidre, les radiacions produïdes sobre el nou elèctrode, nomenat *anticàtode* (fig. 7). Els raigs X, contràriament al que passa als raigs catòdics—primera matèria dels raigs X—no són desviats pels camps magnètic i elèctric, ço que fa veure que són diferents (almenys en algun factor) dels raigs catòdics, si bé també es propaguen en línia dreta. Les experiències òptiques amb llum natural ensenyen que, quan un raig de llum travessa una reixeta especialment preparada, consistent en un gran nombre d'esclatxes de molt petita obertura i que estan tan juntes unes de les altres que poden arribar a haver-n'hi alguns milers per centímetre quadrat—tot plegat rep el nom de *retícula de difracció*—la llum blanca es destria en raigs simples, o sigui que es destria en colors que formen l'espectre òptic, amb els colors tant més se-



parats a un costat i altre de la línia central, com més gran sigui la longitud d'onda dels raigs incidents, car aquestes separacions corresponen a les semilongituds d'onda d'aquests raigs. Això proporciona un excellent mitjà per a determinar la longitud d'onda de les radiacions Röntgen. Aquest mètode, però emprant diversos cristalls naturals com a retícula, ha estat extensament utilitzat per BRAGG, SIEGBAHN, SEEMANN i altres per a construir espectrògrafs que alleugen aquestes mesures, altrament molt difícils de fer, i permeten determinar també la tensió elèctrica aplicada al tub productor dels raigs X, de manera que els espectrògrafs d'aquesta mena constitueixen un voltmetre per a altíssimes tensions, que rep sovint el nom de *voltmetre absolut*.

L'espectrògraf permet, també, per la dependència dels diferents factors que intervenen en la constitució de la matèria i en la dels raigs X, determinar la forma geomètrica de les fines estructures dels cristalls<sup>6</sup>; per tant, les radiacions RÖNTGEN poden tenir, en el domini de la física, tres aplicacions ben distintes: la investigació de les arquitectures cristal·lines, la determinació de les estructures de superfícies metàl·liques i la revisió de l'estat intern de peces industrials acabades. Vegem ara com pot aconseguir-se això darrer.

Hem dit en un paràgraf anterior que hom pot assolir amb els raigs X la fotografia d'un cos opac; aquesta mena de fotografies són quelcom diferents de les fotos normals fetes per reflexió de la llum sobre el cos retratat, en què la llum reflectida és prou actínica per a impressionar la pel·lícula sensibilitzada a l'efecte. Les ràdiofotografies o ràdiografies, com es diu correntment, s'obtenen impressionant la placa fotogràfica *per llum directa a través del cos considerat* (fig. 7 i 15), amb ço que s'aprecien damunt de la placa els diversos gruixos de la peça radiografiada, donat que l'ennegritament de l'emulsió sensible a la llum és inversament proporcional al gruix de matèria entre el feix de raigs i la placa fotogràfica. A l'efecte, hom col·loca la peça a revisar damunt un xassis especial, tancat per tot arreu, que conté la pel·lícula sensible; damunt la peça es col·loca el tub productor dels raigs X, de forma que la peça queda entre la placa i la font lluminosa. En aquestes condicions, basta engegar el corrent alimentador del tub de raigs X durant el temps precís—des d'alguns segons fins a diverses hores, segons dimensions del cos en experiència i també de la matèria de que està fet i àdhuc de l'aparell generador emprat—per a obtenir l'ennegritament de la placa fotogràfica amb els detalls que hom interessava.

<sup>6</sup> CANDEL VILA: "Els raigs X i la estructura dels cristalls", CIENCIA, núm. 30 i 31, abril i maig 1929.



Altres vegades, no interessa tenir fotogràficament la imatge del cos examinat, puix basta, en ocasions, un exàmen visual generalment més ràpid. Aleshores, en lloc de la placa fotogràfica, hom col·loca una pantalla (fig. 13) composta d'una planxa prima de carbonat de calç o un altre cos adequat, damunt de la qual, i en una sola cara, hi hagi estès un petit gruix de plati-cianur de bari, tungstat de calci o qualsevol altra composició fluorescent de les cinquanta i tantes que es coneixen. Aquesta planxa així preparada rep el nom de *pantalla fluoroscòpica* i té la propietat d'esdevenir lluminosa—tal com ja havem insinuat abans—quan els raigs X incideixen damunt de la composició fluorescent. De tots els compostos fluorescents

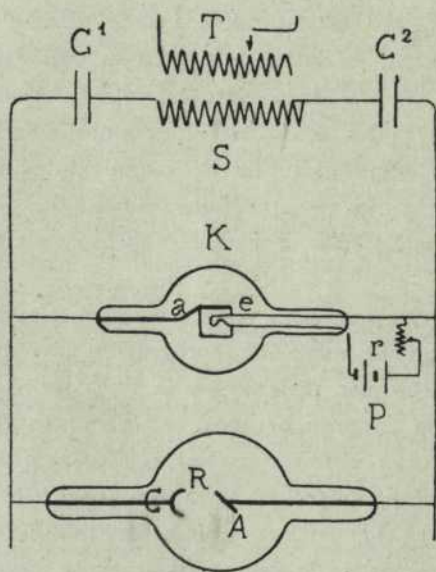


Fig. 9

Esquema de principi de la rectificació amb una vàlvula K, vàlvula rectificadora. R, tub de raigs X, de gas. Aquest esquema fou ideat i posat en pràctica a França, per Villard.

emprats correntment en les pantalles fluoroscòpiques, el plati-cianur de bari, encara que és molt car, sembla ésser el de major rendiment lumínic i, per tant, el més convenient per un bon *exàmen radioscòpic*. El mecanisme físic segons el qual esdevé lluminosa la pantalla fluoroscòpica quan és ferida pels raigs X, s'explica de la següent manera: quan les radiacions lluminoses cauen damunt d'un cos, aquest les absorbeix totes o quasi totes, i l'experiència demostra que aquest cos restitueix en altra forma l'energia absorbida. En el cas de la pantalla fluoroscòpica, la composició fluorescent absorbeix els raigs X que li arriben i restitueix en forma de llum *visible*, gairebé tota l'energia captada. Per tant, tenim explicat no solament el cas de fluorescència, sinó, també, el de l'aparició dels raigs X



quan els raigs catòdics *impacten* l'anticàtode. És curiós de remarcar que quan un cos reflecteix llum, la llum reflectida té una longitud d'onda *major* que la llum incident; o sigui que reflecteix un *altre color* més acostat a l'extrem vermell de l'espectre.

Els equips emprats pràcticament en l'exàmen o control de peces acabades consten (fig. 6, 12 i 13), d'un aparell electrogen, un tub de raigs X adequat al generador i el dispositiu de recepció de les radiacions produïdes, adés placa fotogràfica, adés pantalla fluoroscòpica. També calen diversos accessoris menors, necessaris a la millor utilització de les tres parts capitals esmentades i a la protecció eficaç de l'operador.

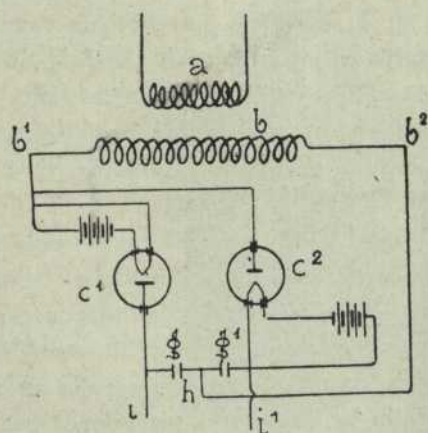


Fig. 10

Esquema de rectificació mitjançant dues vàlvules. Durant un semiperíode, el borne  $b_1$  és, per exemple, positiu; aleshores el corrent no podrà passar per la vàlvula  $C_1$  i el filament de la qual és positiu en aquest instant, però podrà passar per la vàlvula  $C_2$  i seguirà el camí  $b_1, C_2, g_1, h, b_2$  per a carregar el condensador  $g_1$ . Durant l'altre semiperíode, en què el filament serà negatiu, el corrent no podrà passar per la vàlvula  $C_2$  i seguirà el camí  $b_2, C_1, g, h, b_1$  i carregarà el condensador  $g$ . Per tant després d'un període enter estaràn carregats successivament els dos condensadors a una diferència de potencial  $V$  igual a la diferència de potencial màxima que pot donar el transformador, potencial recollible als borns  $b_1$  i  $b_2$ . Aquest esquema és emprat per Gaiffe, Dessauer i els moders constructors d'equips de raigs X.

*Generadors elèctrics.*—Els primers generadors elèctrics emprats en la producció dels raigs X varen ésser els aparells nomenats *màquines electrostàtiques*, formades per discos de material isolant, generalment vidre, que giravoltaven a gran velocitat entre pintes metàl·liques que collectaven l'electricitat produïda per fregament o per influència. El moviment d'aquestes màquines s'efectuava primerament amb la força muscular, cosa que esdevenia pesada i de poc rendiment; després, hom aplicà motors elèctrics al moviment dels plats giratoris, que de vegades tenien dos metres de diàmetre, cosa que els feia extremadament trencadissos. Aquestes màquines donaven el *corrent continu d'alta tensió necessari* a la producció dels raigs catòdics i, per tant, dels raigs X. La inseguretat de funcionament d'aquestes màquines, car són molt influenciades per l'estat atmosfèric, principalment per la humanitat, i els altres inconvenients esmentats més amunt, feren pensar aviat a substituir-les per aparells més industrials i pràctics.



A l'efecte hom començà a utilitzar les *bobines de Ruhmkorff* de gran tamany, associades a interruptors electrolítics de Wehnelt, interruptors rotatoris de mercuri, etc. (fig. 6 i 8) que feien produir a la bobina intenses guspises de gran longitud: prova evident del gran potencial elèctric posat en joc. Aleshores, però, hom obtenia per aquest mitjà *corrents alternatius* de període desigual o no sinusoidal, que, com tot corrent altern, no són directament aptes a la producció dels raigs catòdics i dels raigs X, i *calia rectificar les ondes positives i negatives* del corrent altern per a assolir ondes d'un sol sentit o sigui *corrent elèctric d'alta tensió el més semblant possible al de les màquines electrostàtiques*. Aquesta condició fou obtinguda en la pràctica aplicant els corrents de la bobina de Ruhmkorff, directament als tubs de gas (fig. 7), de Röntgen, que aleshores s'utilitzaven, i que tenen la peculiar característica de *seleccionar l'onda positiva*, a manera de vàlvula rectificadora; d'aquesta guisa, es malmetia molta energia, car restava perduda la semionda negativa o bé era transformada en calor i àdhuc mantes vegades era la causa de foradades dels dielèctrics emprats en la construcció de la bobina.

Amb l'esdeveniment dels tubs de càtode incandescent <sup>7</sup>—dels quals tractarem en paràgraf apart—hom féu un avenç considerable en la millora de l'utilatge de producció de raigs X, sobretot amb la introducció dels transformadors industrials de circuit magnètic tancat i els rectificadors de *contacte giratori*. Aquest consisteix en un joc de quatre pales de material isolant, als extrems de les quals hi ha unes peces metàl·liques que contacten periòdicament amb dos jocs de contactes metàl·lics units elèctricament al transformador i al tub de raigs X. Les pales van a la mateixa velocitat que el corrent alternatiu alimentador del transformador, gràcies a un motor sincrònic a l'eix del qual estan muntades. Amb això, hom utilitza les dues semiondes alternatives i la pèrdua d'energia es redueix considerablement, esdevenint ensems més manejable tota la instal·lació.

Actualment, els aparells que utilitzen el mateix tub de raigs X com a selector d'onda, es nomenen *aparells de transformador* (fig. 9), (exceptuem, per estar ja pràcticament fora d'ús, els aparells dits de *bobina esmentats més amunt*); i els que aprofiten les dues ondes mitjançant les pales descrites: *aparells de contacte rotatori*. Hi ha un tercer tipus d'aparell generador d'altres tensions que és absolutament estàtic i fa la rectificació completa del corrent alternatiu mitjançant un joc de quatre vàlvules electròniques (després les descriurem) posades en muntatge Graetz o Nodon (fig. 21). Aquesta mena d'aparells moderníssims pot dir-se que són

<sup>7</sup> Vegi's CIENCIA, núm. 22, pàg. 123 i següents, agost 1928.



els únics adequats a una feina seriosa de reconeixement radiològic de productes, car donen a voluntat radiacions d'onda llarga o d'onda curta o sigui radiacions poc penetrants, donat que la penetrabilitat és tan més gran com més petita sigui l'onda produïda i aquesta és tan més curta com més alta és la tensió aplicada al tub de raigs X. Per a obtenir aquests resultats, dins un límit fixat per la grandària de la instal·lació radiològica, basta actuar simplement sobre l'encesa de les vàlvules electròniques i del tub de raigs X, sense haver de modificar el règim de treball del transformador. Moltes vegades però, resulta més econòmic modificar el règim d'alimentació

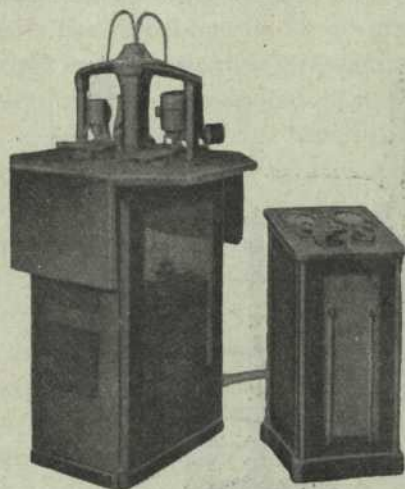


Fig. 11

Aparell modern destinat a l'exàmen d'estructures i per a anàlisi espectral. Construit per la Siemens-Reiniger Veifa de Berlín.

del transformador sense tocar l'encesa. A l'efecte, aquests aparells duen, generalment, un autotransformador de regulació en baixa tensió. També —no caldria dir-ho— aquests aparells duen uns petits transformadors que subministren el corrent sense rectificar, per a l'encesa dels filaments de les vàlvules i dels tubs de raigs X.

Pel que deixem dit, doncs, el generador elèctric d'una instal·lació de raigs X està format per un transformador industrial de potència adequada (els grans aparell solen ésser de 25 KVA) que és alimentat en baixa tensió a 220 V—o a tot altre voltatge industrial de baixa tensió—mitjançant l'autotransformador de regulació; al secundari, aquests aparells donen tensions de l'ordre de 80 a 220 quilovolt. Les tensions més adequades a l'examen de productes, per tal d'atendre les necessitats més corrents de la pràctica diària, estan entre 100 i 180 KV, si bé és convenient de triar un aparell capaç de donar més altes tensions per a tenir un bon marge de funcionament. Les tensions necessàries depenen, tal com ja ha estat dit,



de la penetració que volguem obtenir, i aquesta dependrà dels gruixos i de la qualitat del material a examinar. Ultra les parts esmentades, l'equip electrògen posseirà el dispositiu necessari de rectificació que, com hem dit, en un aparell modern consistirà de 2 ó 4 vàlvules de càtode incandescent. Aquest dispositiu rectificador no solament és necessari per a millor rendiment de la instal·lació radiològica, sinó que es fa indispensable quan hom empra tubs de raigs X no rectificadors i també per a evitar fatiga als tubs que ho siguin. Finalment, l'aparell tindrà els òrgans reguladors i de control necessaris al funcionament regular i còmode de tot el sistema elèctric. Generalment, la part de regulació es fa coincidir en una tauleta amb

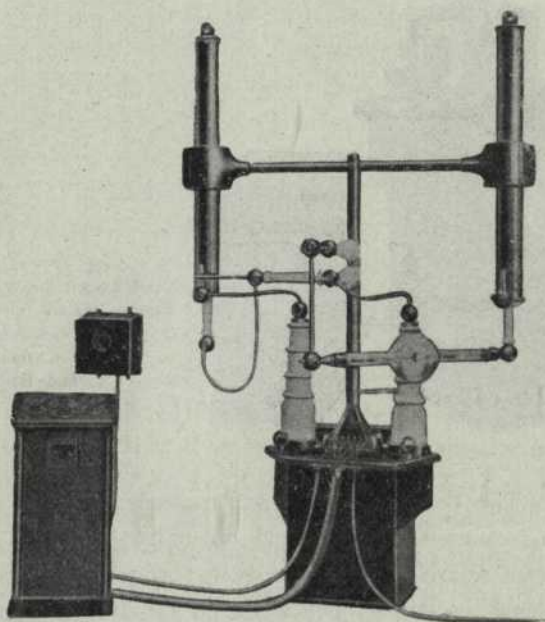


Fig. 12

Aparell «Gran Hel odor Universal» de la Siemens Reiniger Veifa, construït a Barcelona per la casa Ildea S. A., concessionària per a Ibèria

rodes (fig. 12 i 13), que comprèn en poc espai i a l'abast de l'operador, totes les manetes i aparells de mesura que requereix la instal·lació. Aquesta taula de control va unida al generador mitjançant un cable flexible, protegit, ço que fa possible el desplaçament de la taula al lloc més adequat a l'assaig en curs, sense haver de fer també mòvil el generador que és d'un pes considerable.

*Vàlvules electròniques i tubs de raigs X.*—Abans de la descoberta dels raigs X o llum de Röntgen com sol dir-se ara, ja estava molt estesa la tècnica del bufat d'ampolles per a la física. Primerament, els assaigs sobre els gasos enrarits continguts en un recipient de vidre es feien em-



prant tubs de diàmetres diferents, segons l'experiència que hom volia fer. Aleshores, hom deia sempre, i amb raó, *tubs* a tot dispositiu on s'hi inquirien dos elèctrodes. Ara, i malgrat haver-se canviat la forma d'aquests estres fins al punt de no tenir cap semblança amb un tub, continuem nomenant-los tubs i així diem *tub electrònic* a les vàlvules, p. e., als keno-tron, i a les làmpades de ràdio; i les *làmpades de raigs X* les anomenem *tubs de raigs X*.

D'ençà dels primers assaigs seriosos (podríem dir més justament, metòdics) fets per DAVY a les primeries de la dinovena centúria, com s'ha dit ja abans, en l'estudi de les descàrregues elèctriques a través de gasos a molt baixa pressió, la tècnica del buit ha fet els grans progressos que han estat el factor principal en les posteriors investigacions electrofísiques fins al descobriment successiu de les diverses radiacions entre les que es troben els raigs X. No és el nostre propòsit fer història—per cert, molt interessant— de les diverses fases d'avenç tècnic i de fabricació de tota mena de tubs i vàlvules electròniques o sigui, per dir-ho breument, del que hom nomena genèricament *Tècnica del buit*. Ens limitarem a descriure els tubs emprats actualment en els aparells destinats a l'examen radiogràfic i ràdioscòpic de productes industrials.

Les vàlvules electròniques emprades en la rectificació de corrents d'alta tensió es fonamenten en un fenomen molt curiós—i actualment molt aplicat en la telefonia sense fils—descobert per Edison quan inventà la famosa bombeta elèctrica d'incandescència. Aquest físic observà, experimentant amb l'esmentat aparell de fer llum, que el vidre de la bombeta es tornava negre a l'altura de la part més encesa del filament, si bé aquest ennegriment també es produïa, menys intensament, a tot el vidre. Això donà ocasió a Edison de posar en joc la seva imaginació i pensà que aquell ennegriment no seria simplement degut a la qualitat del vidre—cosa que comprovà emprant-ne de diverses procedències—sinó a quelcom que es desprendria del filament incandescent. Noteu el paralelisme d'aquest fenomen amb l'escapada de corpuscles negatius del càtode en la producció de raigs catòdics, amb tot i ésser fenòmens distints. Per veure *què passava*, pensà soldar al vidre, interiorment i en la regió més ennegrida, una placa metàl·lica amb un terminal també metàl·lic que sortia enfora. Aleshores establí una comunicació elèctrica entre un extrem del filament encès i la plaqueta susdita i comprovà, amb un galvanòmetre i una bateria elèctrica inserits en aquest circuit, que *passava corrent a través de l'espai buit d'aire de la bombeta quan el filament estava incandescent*. Això bastà per a fer-lo convèncer que el *quelcom* imaginat era un fenomen registrable en la història de la física, fenomen que es coneix amb el nom d'*efecte Edison*.



Aquest efecte no fou, aleshores, aprofitat en res pràctic i els investigadors s'acontentaren amb determinar la causa del fenomen que no era altra que la producció d'un corrent d'electrons—partícules o corpuscles d'electricitat negativa—que sortia constantment del cos incandescent. Aquesta propietat no la gaudeix solament el filament de les làmpades elèctriques, sinó que és una propietat general de tot cos incandescent, estigui o no plaçat en el buit, si bé en el buit limitat per una paret de vidre pot seguir-se còmodament el fenomen.

Un investigador en la telecomunicació, FLEMING, constatà l'any 1904 que si la plaqueta Edison envoltava el filament incandescent i s'establia el mateix circuit emprat primerament pel descobridor, hom podia fer passar un corrent elèctric dins de l'espai buit d'aire en el sentit de la placa freda al filament calent, però no en sentit contrari. Aquesta particularitat tan notable l'aplicà FLEMING a la construcció del relés telegràfic conegut per làmpada de Fleming que ha estat el punt de partida dels progressos radiotelefònics. La mateixa remarca feta per aquest darrer físic ha estat després aplicada al funcionament dels tubs de buit nomenats vàlvules electròniques o de càtode incandescent que han fet possible l'enorme avenç en la construcció d'aparells de raigs X i amb això la utilització, en gran escala, d'aquestes radiacions en multitud d'aplicacions industrials i medicals. Actualment, hom fa vàlvules rectificadores de molt diversos tipus: des del senzill *tungar* emprat en la càrrega d'acumuladors i altres aplicacions de ràdiotelefonía casolana, fins a les enormes vàlvules amb ànode refrigerat per aigua. Aquesta refrigeració és necessària quan es posa en joc gran quantitat d'energia; altrament es malmetria l'efecte rectificador d'aquests estres que requereixen la fredor de l'ànode. El filament d'aquestes vàlvules sol ésser de tungsten <sup>8</sup>.

Una vàlvula electrònica, o de càtode incandescent, moderna presenta l'aspecte d'un fus engrossit a la part central, que constitueix el ventre. Consta, per tant, essencialment d'un recipient de vidre de la forma susdita dintre del qual, i en el mateix eix que uneix els pols, hi han, d'una banda, una tija metàl·lica amb la cassoleta que conté el filament d'encesa i els conductors necessaris per al pas del corrent de baixa tensió (generalment consumeix uns 6 ampers a 12 volt); i, d'altra banda, una tija metàl·lica que comporta un cap metàl·lic de coure, d'alumini i àdhuc de carbó polit. Modernament, però, es fa ús d'unes plaques de tungsten que donen major durada a la vàlvula.

Ambdues tiges tenen connexió exterior, variable segons el fabricant.

<sup>8</sup> Vegi's CIÈNCIA, núm. 22, agost 1928.



La part que duu el filament d'encesa és nomenat *càtode*, com ja ha estat dit abans; i la part de la placa de tungsten, *ànode*. Entre l'ànode i el càtode hom aplica l'alta tensió alternativa que cal rectificar. El recipient de vidre està buit d'aire, a pressió molt baixa.

Hom veu que la *vàlvula rectificadora* està composta d'una part *calenta*, el filament incandescent, i d'una part *freda*, la placa. Entre l'una i l'altra s'estableix un camp elèctric a alta tensió. El corrent pot passar,

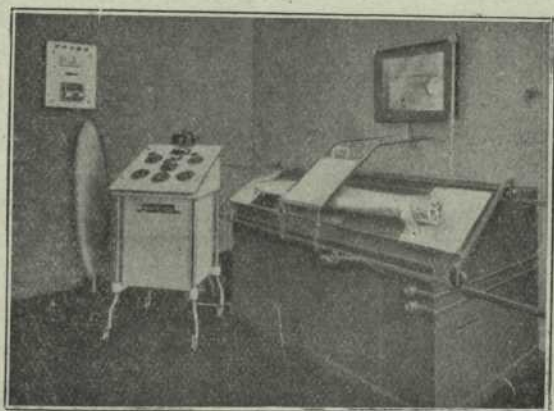


Fig. 13

Instal·lació de raigs X especialment per l'examen de materials per radioscòpia. Construït per la S. R. V.-Berlin. La imatge de la peça es veu en silueta damunt la pantalla fluoroscòpica del pupitre en esdevenir lluminosa i transparenta quan és ferida pels raigs X

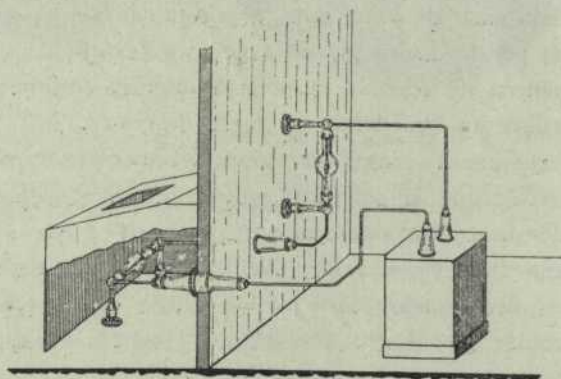


Fig. 14  
Representació esquemàtica de la instal·lació de la figura 13

com hem dit, de la part freda a la calenta, però no en sentit contrari; per tant, tindrem ondes elèctriques d'un sol sentit, i perdrem l'onda de sentit contrari. Per tal d'evitar aquesta pèrdua molt notable, hom fa un muntatge especial—ja alludit—format per quatre vàlvules, o bé dues vàlvules i dos condensadors (fig. 10) (muntatge Villard, emprat per DESSAUER) i també de dues vàlvules i de dues resistències <sup>9</sup> adequades per a tenir un dispo-

<sup>9</sup> L'autor d'aquest article ha trobat i comprovat la excel·lència d'aquesta disposició en circuits de baixa tensió. Caldria veure si, com sembla teòricament, és apta



sitiu de rectificació de les dues ondes, amb ço que s'obté el màxim rendiment del corrent rectificat.

Els tubs de raigs X primitius, tal com els ideà el propi Röntgen, es fonamenten en les observacions fetes aleshores per aquest físic, o sigui en el xoc dels raigs catòdics sobre una superfície metàl·lica de platí. Els raigs catòdics es presenten sempre del costat del càtode, de manera que basta connectar inversament la polaritat de la màquina electrògena per a obtenir els raigs catòdics de sentit invers. En la pràctica, això no es fa mai, però el fenomen pot produir-se com queda dit. És evident que no reportaria cap avantatge la reversibilitat del tub de raigs catòdics i, en canvi, podria provocar una complicació de construcció dels tubs. Un tub de raigs X dels emprats per Röntgen i els seus seguidors, fins vers l'any 1918 en què aparegué el tub de càtode incandescent, consistia (fig. 7) d'una ampolla de vidre de forma esfèrica, als pols de la qual hi havien soldats, a banda i banda, uns cilindres de vidre que contenien, respectivament, el càtode i l'anticàtode i, formant un angle d'uns 30° amb l'anticàtode, estava situat l'ànode que era la connexió positiva del *tub de gas* com s'anomenava aquest estre, justament per contenir gas molt enrarit. Els tubs que tenien una pressió més baixa que la convenient eren nomenats *durs*; els que tenien major quantitat de gas i, per tant, major pressió que l'òptima eren dits *molls*. El bon estat de la pressió del gas del tub es coneixia per la coloració verda de tota l'esfera de vidre. Aviat hom inventà la manera de regular la pressió interior emprant a l'efecte molt variats procediments que deixarem sense descriure.

Actualment, ningú no empra en el treball quotidià els tubs de gas i pot dir-se que ja solament tenen una valor històrica. Els tubs de càtode incandescent són universalment emprats arreu on cal produir raigs X. Aquests tubs varen ésser inventats vers l'any 1918 per l'americà Dr. COOLIDGE, investigador físic al servei de la General Elèctric Co. Diversos fabricants de França, Alemanya i Holanda construeixen ara tubs de raigs X, basats en igual principi de Coolidge, que no és altre que l'explicat més amunt per a les vàlvules electròniques, si bé amb la notable particularitat que ací el camp elèctric aplicat entre càtode (filament incandescent que produeix el corrent d'electrons vers el pol oposat) i ànode (en els tubs de gas, anticàtode), serveix per a accelerar els electrons sortits del càtode, que adquireixen major força viva i, per tant, produeixen tanta

---

per a altes tensions com les emprades per als raigs X. El muntatge vàlvules—resistències òhmiques (no hi ha inconvenient, però, per a emprar resistències inductives) requereix l'aplicació d'un filtre depurador d'onda, si bé no hi ha inconvenient de suprimir-lo en la producció de raigs X habitualment necessaris en metal·lografia.



més energia de xoc, com més alta és la tensió del camp elèctric. Abans ja ens hem referit a aquesta particularitat dels raigs X.

La investigació pròpia de cada fabricant actual ha determinat la creació de tubs amb càtode incandescent de característiques pròpies, especials per cada mena de tubs destinats a treballs determinats. Així trobem, a part de les característiques de catàleg de cada fabricant, la nomenclatura següent: tubs de focus prim, mitjà o ample, en què cada paraula correspon a una grandària del punt d'impacte i, a la possibilitat de fer passar una major intensitat elèctrica proporcional a la superfície d'impacte i, per aquest fet, cada denominació correspon al tamany de feix de llum Ront-



Fig. 15

Manera de disposar la peça a radiografiar. Les peces estan damunt el xassis que conté la pel·lícula fotogràfica. Per damunt de tot, i a la distància convenient per a obtenir una imatge fotogràfica de tamany exacte a la peça s'hi col·loca el focus de raigs X (vegi's també la figura 7).

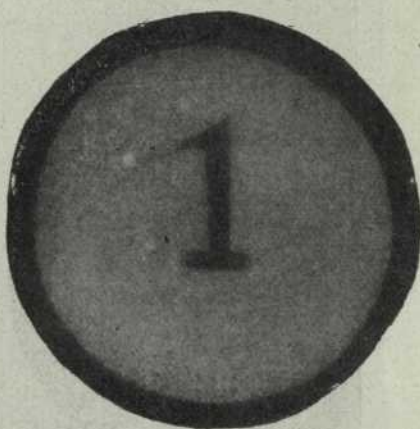


Fig. 16

Mostra d'acer de 45 mm de gruix on s'hi cecel·len 3 taladres de 0,5, 1 i 3 mm de fondària; el número 1 és una xifra de plom plaçada damunt la mostra. Foto obtinguda amb 4 mA i 120 kV (R. G. E., 12 de maig de 1927).

gen que cada mena de tub proporciona; també està compresa la denominació de tubs de petit potencial (raigs de gran longitud d'onda) i de gran potencial (o petita longitud d'onda) o sigui, més correntment, tubs de raigs tous i de raigs durs, respectivament. La denominació de raigs tous o durs, així com la dels potencials que els produeixen, és una qüestió purament convencional entre els professionals d'aquesta tècnica. D'aquesta guisa direm: raigs tous els produïts amb potencials fins a 150 kV; raigs durs als de potencials fins a més de 250 kV. Darrerament, el propi doctor COOLIDGE ha fet experiments amb tubs que suporten i requereixen un milió de volt (=1000 kV)<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Vegeu CIENCIA, núm. 34, pàg. 373, nov-des. 1929.



Tant en el cas de les vàlvules electròniques descrites, com en el dels tubs de raigs X moderns, són requerits buits quasi perfectes (pràcticament perfectes) per a obtenir aquests interessants efectes que venim de descriure.

Les instal·lacions de raigs X destinades a investigacions metal·logràfiques varien d'un fabricant a l'altre; però sempre cal que continguin: un generador d'alta tensió el més semblant possible al corrent continu; un



Fig. 17  
Radiografia d'un rellotge en tamany natural, sense pel·lícula de reforç. 70 kV i filtre de 2 mm de llautó

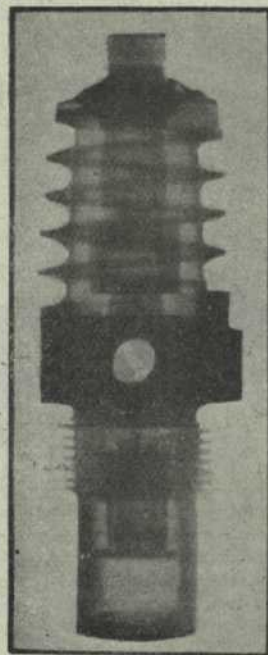


Fig. 18  
Espoleta d'obús de 75. Remarqui's la visibilitat de les parts constituïents

tub de raigs X amb el suport corresponent; el dispositiu porta-plaques fotogràfiques o pantalla fluoroscòpica, segons que es vulgui fer radiografia o radioscòpia; dispositiu porta-peces i, finalment, accessoris de protecció de l'operador. Cada fabricant resol aquestes qüestions diferentment i ací radica la major o menor practicitat del material radiològic d'aplicació a les investigacions industrials. En aquest aspecte, Catalunya també està ben preparada, car ara són dues les fàbriques que construeixen aques-



ta mena d'aparellatge: la primera, cronològicament, ha estat l'Anònima Prieto dedicada, pot dir-se, exclusivament, a la construcció d'instal·lacions de raigs X per a metges; i la segona en el temps, però primera en mitjans de producció, amb utillatge industrial modern que permet la fabricació en grans sèries, és la casa ILDEA, S. A., que pot subministrar equips per a aplicacions mèdiques i industrials. Ambdues cases constructors tenen la fàbrica a Barcelona.

Hem dit abans que la part fotogràfica de la pràctica radiometallogràfica té una importància extraordinària i cal proveir la instal·lació de raigs

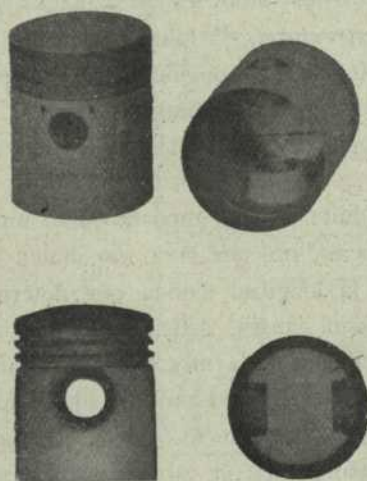


Fig. 19

Radiografia d'un èmbol de metall Elektron.  
Remarqui's la falla de fosa marcada amb  
la fletxa



Fig. 20

Pupitre per a l'obtenció d'ampliacions i re-  
duccions de radiografies

X esmentada amb l'equip fotogràfic més escaient. És cert que aquest es redueix a una cambra adequada on hi hagi el laboratori químic-fotogràfic. Hom haurà remarcat que la radiometallografia no requereix sistemes òptics de cap mena, tret, tal vegada, d'algun dispositiu de diafragmes que tampoc no necessiten vidres òptics de cap mena. Basta, doncs, el xassis que contingui la pel·lícula sensible col·locat a una distància convenient, generalment contra el cos a examinar i en íntim contacte amb aquest; per a obtenir imatges en silueta—el tamany natural s'obté generalment amb 40 cm. de distància focus-placa—o, més ben dit, amb gradacions dependents dels gruixos en matèria del cos examinat. Cal fer esment que els xassis



carregats cal tenir-los lluny del tub de raigs X (millor dintre una caixa de plom) ço per tal d'evitar la inutilització per impressió prematura o re-impressió causada pels possibles raigs dispersos o per raig directe fortuït. A això es redueix, en últim terme, la tècnica dels raigs X aplicats a la metal·lografia i al reconeixement d'altres productes industrials on calgui investigar l'estat de compacticitat o homogeneïtat de la matèria que els forma.

La propietat de la llum Röntgen de travessar els cossos opacs a la llum ordinària fa possible la investigació que venim de descriure, però hom pot emprar els raigs X simplement com a manantial de *llum monocromàtica d'onda molt curta*. En aquest cas, poden ésser examinades visualment i fotogràficament amb el microscopi—amb les precaucions escaients, que no són poques—*superfícies estructurals*<sup>11</sup> talment com es fa en les investigacions normals metal·logràfiques. Les possibilitats d'aquesta última aplicació dels raigs X depèn, únicament, de l'utilatge auxiliar i no de la instal·lació generadora de llum Röntgen, que és, en tots els casos del tipus descrit (fig. 11).

Cal esmentar, ara, que els raigs X produïts per no importa quina mena de tub, àdhuc els de les millors procedències, no són *purs*, no donen un feix format únicament per radiacions de la longitud d'onda que determinaria el voltatge aplicat, si no hi haguessin causes, difícils d'assenyalar, que produeixen conjuntament altres radiacions d'onda més llarga. En això passa una mica com en acústica: no és possible fins ara produir un so únicament format per una sola mena d'ondes; forçosament, s'hi produeixen harmòniques més o menys intenses, que determinen la característica peculiar de l'instrument que emet el so fonamental. Amb la llum visible es produeix, també, aquest fenomen de la barreja de diverses longituds d'onda que donen la tònica particular de "color" relativament fàcil de modificar, en el cas de la llum visible, per mitjà de vidres colorats que nomenem *filtres*. Aquests filtres eliminen, per absorció, transformant-les en calor que es perd, les radiacions diferents de les que ens interessin seleccionar. De semblant manera passa amb els raigs X.

En produir un feix de raigs X de la manera susdita, podem tenir la certesa que obtindrem una barreja de radiacions de longitud d'onda diversa i de les quals haurem de separar les que no ens convinguin per al treball del moment. Unes vegades requerirem raigs tous (poc penetrants), o sigui, d'onda llarga, i altres vegades necessitarem raigs durs (penetrants o molt penetrants), o sigui, d'onda curta o molt curta. Cada tub de raigs X,

<sup>11</sup> CANDEL VILA, *CIENCIA*, núm. 30 i 31, abril-maig 1929.



similarment a un instrument acústic o un focus lluminós, produeix, a igualtat de tensió aplicada, una determinada mena de raigs caracteritzada per la longitud d'onda dominant, que podríem nomenar "tònica" o "color" del feix produït. Aquesta tònica (i valgui el terme musical) duu les seves harmòniques (encara que en raigs X no és del tot correcta aquesta expressió, car no domina precisament la periòdicitat tan característica dels intervals musicals) que desfiguren i a vegades malejarien els resultats en metallografia, si no hi hagués la possibilitat de *filtrar* també els raigs X com en la llum ordinària.

Aquest filtratge s'obté amb plaques metàl·liques de matèria i gruixos diferents. La particularitat molt notable que posseeixen els raigs X d'es-

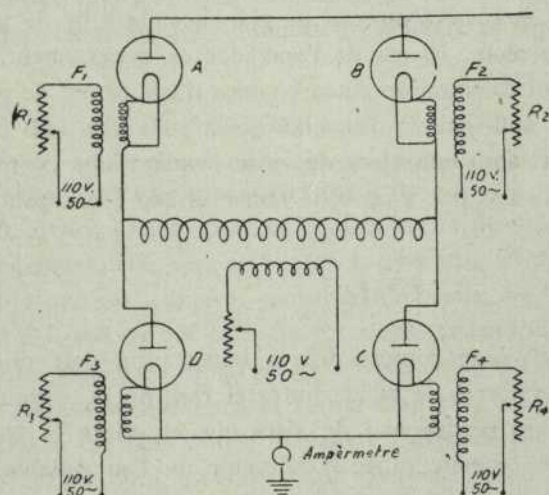


Fig. 21  
Esquema de muntatge amb 4 vàlvules electròniques (compari's amb la figura 10)

ser penetrants, a igualtat de les altres circumstàncies, en forma directament proporcional al pes atòmic dels metalls, serveix molt bé per a tenir un mitjà segur d'eliminar, en la mesura escaient, totes les radiacions que tinguin major longitud d'onda que la requerida en cada cas. Els filtres utilitzats en la pràctica radiometal·logràfica són formats de plaques d'alumini, de zinc, coure o plom, i àdhuc llautó, de gruixos entre 0,1 i 15 mm. Poden ésser de qualsevol forma geomètrica, car això només depèn de la mena de portafiltres que s'adopti en cada treball. La major dificultat de la pràctica radiometal·logràfica pot dir-se que radica en l'assenyada utilització dels filtres i en el treball fotogràfic.

Encara ens cal esmentar un accessori utilíssim al radiometal·lografista. Ens referim a les *pantalles o fulles de reforç*. Aquestes fulles serveixen per a reduir fins a 1/3 el temps d'exposició, car eviten la dispersió dels



raigs X, cosa que, altrament, seria pura pèrdua. Aquestes fulles reforçadores presenten l'aspecte de cartrolines blanques, amb una de les cares molt llisa i satinada. Les fulles reforçadores es col·loquen a cada banda de la pel·lícula fotogràfica, dintre el xassis portaplaques.

Finalment, citarem l'absoluta necessitat que la instal·lació radiometal·logràfica tingui el grau de seguretat que requereixen les altes tensions emprades i, particularment, les radiacions Röntgen. Aquestes radiacions són un perill constant i cert per al manipulador no previngut. En cada sessió caldrà cobrir-se la pell exposada directament o indirectament als raigs X amb matèries riques en plom o en sulfat de barita que absorbeixen aquestes radiacions en grau molt notable, evitant d'aquesta guisa que llur activitat s'esmerci en destruir teixits humans. Hom acostuma a tancar el tub producteur de raigs X en una caixa especial de vidre plomíç o bé de planxa de plom o de goma amb plom. El cos de l'operador és, generalment, suficientment protegit amb un davantal de goma plomíça d'uns 6 mm de gruix; les mans cal protegir-les amb guants d'aqueixa goma i els ulls amb ulleres de vidre plomíç o, millor, amb una placa de vidre plomíç d'uns 20 mm de gruix i de superfície suficient per a protegir també el cap i la cara.

\* \* \*

Pel que deixem escrit, hom comprendrà la importància dels raigs X en les pràctiques de laboratori i de taller dintre el ram de la metallúrgia, encara que és necessari no perdre mai de vista que els raigs X són un enemic natural de l'home; enemic capaç d'esdevenir un bon col·laborador, si la intel·ligència humana el mena assenyadament.

TIRS FUENTES TEJERO