

LA SECCIÓ IONOSFÈRICA DE L'OBSERVATORI DE L'EBRE

J. G. Solé, D. Altadill; L.F. Alberca; E. Galdón

Observatori de l'Ebre. CSIC-URL.

Paraules clau: instruments ionosfèrics, sondejadors ionosfèrics, registre absorció, contingut total d'electrons.

The Ionospheric Section of the Observatori de l'Ebre

Summary: The present paper describes the Ionospheric Section of the Observatori de l'Ebre, from its creation in 1955 until nowadays. In particular, we report those instruments which have been, and are operating at the Observatori during the last 40 years with the purpose of studying the ionosphere, i.e. ionospheric sounders, satellite receivers, and absorption measurements. At the end of the paper the reader can find a short description of the actual status of the section.

Key words: ionospheric instruments, ionospheric sounders, absorption measurements, total electron content.

1. Introducció

La secció ionosfèrica de l'Observatori de l'Ebre s'inaugurà el 26 de març de 1955 amb la instal·lació del primer sondejador ionosfèric de l'Estat espanyol. Des de llavors fins a l'actualitat tres han estat els sondejadors en funcionament a l'Observatori, a més d'altres equips per a enregistrar l'absorció produïda a la regió ionosfèrica D, i de receptors de satèl·lits per a deduir el contingut total d'electrons. Tots els sistemes de registre són mètodes de mesura indirecta, basats en la teoria magneto-iònica, és a dir, en la modificació que un medi ionitzat sota la presència d'un camp magnètic provoca en la propagació d'ones electromagnètiques.

Amb aquesta contribució es pretén donar a conèixer els diversos instruments que han estat i estan operatius al Centre, així com els registres de que es disposa.

2. El naixement dels estudis ionosfèrics.

Literàriament podríem dir que els estudis ionosfèrics es gestaren l'any 1878 quan Balfour Steward (1902) postulà l'existència d'una capa electritzada a l'alta atmosfera per poder explicar la variació diürna dels elements magnètics, i neixen l'any 1901 quan Marconi

transmeté un radiomissatge des de Portmounth a la Spezia primer i a Newfouland després, moment en què la comunitat científica es preguntà com una ona de ràdio havia salvat la curvatura de la Terra. És l'any 1902 quan Heavisade, Kenelly i Nagaoka, postularen de forma independent l'existència d'una capa ionitzada a l'alta atmosfera, que actua com a reflectora i permet, mitjançant reflexions successives, salvar la curvatura de la Terra. Eccles, l'any 1912, va fer la hipòtesis que aquesta capa estava formada per un nombre d'ions i electrons que augmentaven amb l'altura. Així una ona de ràdio, en penetrar en aquesta capa de major densitat es refractaria cada cop més fins que hi hauria reflexió total i l'ona seria reenviada cap a la Terra.

L'evidència experimental de l'existència de la ionosfera, com una regió de l'alta atmosfera dèbilment ionitzada, tingué lloc l'any 1925 quan Appleton i Barnat, i Smith-Rose i Barfield hi provaren la reflexió d'ones de ràdio. Fins al 1926 s'utilitzaren mètodes interferomètrics i és a partir d'aquest any que es comença a emprar el mètode dels polsos, descrivint Breit i Tuve el resultat del seu experiment segons el qual, enviant uns polsos de curta durada es rebien no un, sinó dos i més polsos en un receptor a pocs quilòmetres de distància. El mètode del polsos és el més emprat per a l'estudi de la ionosfera i és en el que es basen els sondejadors ionosfèrics. Una visió més detallada de l'evolució dels estudis ionosfèrics, així com les referències d'aquest apartat es troba a Galdón (1959: 21-140).

3. Creació de la secció ionosfèrica de l'Observatori de l'Ebre.

La secció ionosfèrica de l'Observatori de l'Ebre s'inaugurà el 26 de març de 1955. Una detallada descripció dels actes d'inauguració es pot trobar a Cardús (1955:285-286). Atès que l'Observatori fou fundat l'any 1905, queda clar que la Secció Ionosfèrica no podia estar entre les seccions en què aleshores es dividí el centre. La persona encarregada d'engegar aquesta secció fou el jesuïta Eduardo Galdón que passà un temps a França per tal de conèixer l'instrument i els mètodes de treball i aplicar-los a l'Observatori, i fou així el primer Cap de la Secció.

El primer sondejador que va estar en funcionament fou l'ST-35, construït per l'enginyer Mr. Pron del Bureau Ionospherique Français, i adquirit per la «Dirección General de Protección del Vuelo». Aquest sondejador era idèntic als que formaven la xarxa francesa i nord-africana operada per França.

4. Instrumentació de la Secció Ionosfèrica

A la Secció Ionosfèrica de l'Observatori de l'Ebre s'hi han fet bàsicament tres tipus d'observacions de paràmetres ionosfèrics: sondejos per incidència vertical, registre d'absorció i determinació del contingut total d'electrons mitjançant senyals procedents de satèl·lits artificials.

4.1 Sondejadors per incidència vertical

Els sondejadors per incidència vertical funcionen de forma similar a un radar, però cal recordar que aquests es van desenvolupar a partir dels primers sondejadors i no a la inversa.

De forma molt esquemàtica el mecanisme és el següent: s'emet una ona de freqüència coneguda i es rep la reflexió d'aquesta ona a la regió ionosfèrica on la densitat electrònica és l'adiant. Suposant una velocitat de propagació i coneixent el temps que ha trigat l'ona en fer el camí de pujada i baixada, es pot determinar l'altura a què ha tingut lloc la reflexió. Fent un escombrat en freqüències s'obté el que es coneix com a ionograma, és a dir, una representació de l'altura virtual en funció de la freqüència. Com que aquesta última està directament relacionada amb la densitat electrònica, podem passar a conèixer la distribució de densitat electrònica a altures virtuals. Sempre es parla d'altures virtuals i no d'altures reals ja que la ionosfera al ser un medi ionitzat es comporta com a dispersiu, i no coincideixen la velocitat de fase i de grup de l'ona. Degut al retard de grup que sofreixen els polsos, l'altura real de reflexió no coincideix amb la virtual. Per a passar a altures reals cal fer el que es coneix com a inversió de l'ionograma, i obtenir finalment el perfil de densitat electrònica en altura.

Com ja s'ha dit, el primer sondejador fou l'ST-35 (fig. 1a), i funcionà des de 1955 fins a 1967. Explorava un rang de freqüències d'1,4 fins a 16,6 MHz en tres gammes, amb una potència d'emissió (en pic) d'1,4 a 3 kW, essent la durada del sondeig de 60 s. La precisió teòrica, segons el manual, de les marques d'altura era de ± 1 Km, i la de freqüències $\pm 0.3\%$ de la freqüència.

L'any 1967 començà a funcionar el JW5 de Magnetic AB, i ho va fer fins l'any 1987. El rang de freqüències era de 0,25 fins a 20 MHz (en 4 gammes), la potència d'emissió (en pic) 30-40 kW, i la durada del sondeig 60 s. La precisió teòrica de les marques d'altura i de freqüència era $\pm 0.5\%$. Els sondejadors descrits anteriorment enregistraven els ionogrames sobre pel·lícula fotogràfica (fig. 1b), a partir de la qual es mesuraven les diferents característiques ionosfèriques. L'eix de freqüències era logarítmic, i permetia una gran resolució a les baixes freqüències.

L'any 1988 es canvia el JW5 pel sondejador digital DGS-256 de la Universitat de Massachusetts Lowell (fig. 1c). Les freqüències explorades van d'1 fins a 30 MHz, la potència d'emissió (en pic) és 2 kW, i la durada del sondeig és variable, depenent del rang programat per a sondejar. Rutinàriament, les altures s'obtenen cada 5 Km, i les freqüències cada 0,1 MHz, però es poden realitzar sondejos de precisió baixant la resolució en altura a 2 Km i la freqüència a 25 kHz. Aquest sondejador permet fer sondejos per incidència vertical i obliqua. A més porta incorporats uns programes de tractament que escalen automàticament el ionograma i calculen el perfil de densitat electrònica. A diferència dels anteriors, el registre (fig. 1d) es fa sobre paper i suport magnètic, i l'eix de freqüències és lineal.

4.2 Registre d'absorció, mètode A3

La regió més baixa de la ionosfera, regió D, no es pot visualitzar amb els sondejadors ionosfèrics d'incidència vertical (I.V.), ja que la densitat no és suficient com per a provocar una reflexió I.V. El sistema que va estar funcionant a l'Observatori de l'Ebre des de 1967 fins a 1992 per estudiar aquesta part de la ionosfera és el conegut com a mètode A3. El sistema estava format per un transmissor situat a Torrejón de Ardoz i tres receptors (fig. 2a), un d'ells a l'Observatori de l'Ebre. El sistema encara està en funcionament i queda un receptor al Centro de Experimentación El Arenosillo (Huelva) que depèn de l'INTA. El transmissor emet una ona a la freqüència de 2830 kHz que creua la regió D, i es rep després de ser re-

flectida en regions superiors de la ionosfera. Si es coneix la relació entre el senyal emès i rebut es pot determinar l'absorció soferta per l'ona a la regió D. L'Observatori de l'Ebre disposa del registre d'absorció sobre paper (fig. 2b).

4.3 Contingut total d'electrons (CTE)

La determinació del contingut total d'electrons es fa generalment estudiant l'efecte que introdueix la ionosfera en els senyals emesos pels satèl·lits artificials. Bàsicament podem distingir dues tècniques: rotació de Faraday i variació de fase (GPS, NNSS, etc.).

El mètode de la rotació de Faraday es basa en el fet que el pla de polarització d'un senyal linealment polaritzat gira un angle durant el trànsit del senyal a través de la ionosfera, que depèn entre altres paràmetres del CTE. Mesurant aquest angle, amb la lògica ambigüitat de 2π , es pot determinar el CTE. L'altra tècnica habitual d'estudi del CTE es mitjançant l'anàlisi dels senyals de la constel·lació de satèl·lits GPS, NNSS... En aquest els satèl·lits emeten dos senyals de freqüència 1575 i 1227 MHz respectivament, i cal emprar receptors GPS duals, amb els quals és possible diferenciar entre si les dues fases, i s'obté d'aquesta forma els retards ionosfèrics, que són proporcionals, excepte termes que representen retards instrumentals, a la densitat d'electrons integrada al llarg del raig, (per més detalls de les tècniques vegeu per exemple Hargreaves 1992:69-71, 397).

L'octubre de 1964 s'inicià una col·laboració, primer amb la NASA i després amb la USAF, per a la determinació del Contingut Total d'Electrons mitjançant el càlcul de la rotació de Faraday dels senyals emesos pels satèl·lits. Hi va haver tres tipus de registre: 1) senyals de satèl·lits d'òrbita polar i un receptor amb dues antenes fixes, 2) senyals de satèl·lits geoestacionaris i un polarímetre amb una antena Yagui giratòria i 3) senyals de satèl·lits geoestacionaris (fig. 2d) i un polarímetre amb dues antenes Yagui fixes creuades (fig. 2c).

5. La Secció ionosfèrica de l'Observatori de l'Ebre en l'actualitat

Actualment, a l'Observatori només hi ha operatiu el sondejador DGS-256. Amb aquest es realitzen regularment sondejors verticals horaris, encara que en coordinació amb altres estacions també es realitzen sondejors cada 5 minuts, o sondejors per incidència obliqua. Cada ionograma es revisa manualment i d'ell s'extreuen 11 paràmetres, que s'envien cada dia a diferents centres internacionals de recollida de dades. Des de principis de març d'aquest any es disposa d'una pàgina web on cada dia s'actualitzen els ionogrames per tal que qualsevol persona pugui visualitzar l'estat de la ionosfera sobre de l'Observatori (www.readysoft.es/home/observebre). Des de fa uns pocs anys a l'Observatori hi ha instal·lat un receptor GPS dual, que forma part de la xarxa fiducidària de receptors GPS operada per l'Institut Cartogràfic de Catalunya.

Aquesta és una de les tres seccions de l'Observatori en que a més d'observació, es fa recerca. El personal que normalment hi treballa està format per dos doctors, un llicenciat i un auxiliar. L'estudi de la ionosfera té el seu interès degut al fet que és un medi de comunicació de les ones de ràdio econòmic, i no necessita tecnologies intermèdies de propagació, i això és important per a certes comunicacions estratègiques. Fins a l'aparició dels satèl·lits artificials

era el mètode més emprat en les telecomunicacions. Un altre punt d'interès és que els senyals que provenen dels satèl·lits i travessen la ionosfera també es veuen afectats. Així, per exemple, en posicionament precís emprant GPS cal fer una correcció per tal d'eliminar el retard introduït per la ionosfera i tenir una millor determinació de la posició del receptor. Per una descripció més extensa de la ionosfera, amb teories de formació, comportament i tècniques d'observació vegeu per exemple Solé i Altadill (1995: 4-16).

Bibliografia

CARDÚS, J. O. (1955). «Sondeos ionosféricos», *Revista de Geofísica*, 56, 285-312
 GALDÓN, E. (1959). «Estudio de la ionosfera por sondeos de incidencia vertical», *Urania*, 21 (249), 21-140.
 HARGREAVES, J. K. (1992). *The solar-terrestrial environment*. Cambridge, Cambridge University Press.
 SOLÉ, J.G.; ALTADILL, D. (1995). «La ionosfera: formació, comportament i tècniques d'observació», *Revista de física*, 2n semestre 1995, 4-16.

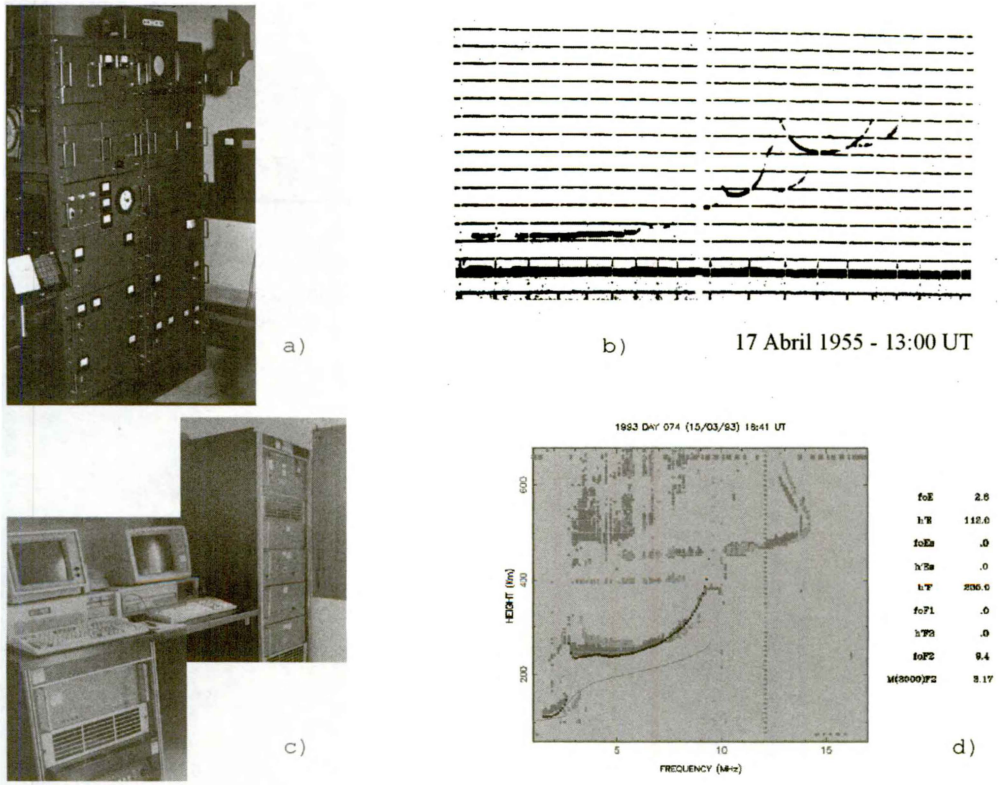


Figura 1. a) Sondejador ST-35, b) ionograma obtingut amb el ST-35, c) detall de DGS-256 i d) ionograma vertical i oblic enregistrat amb el DGS-256.

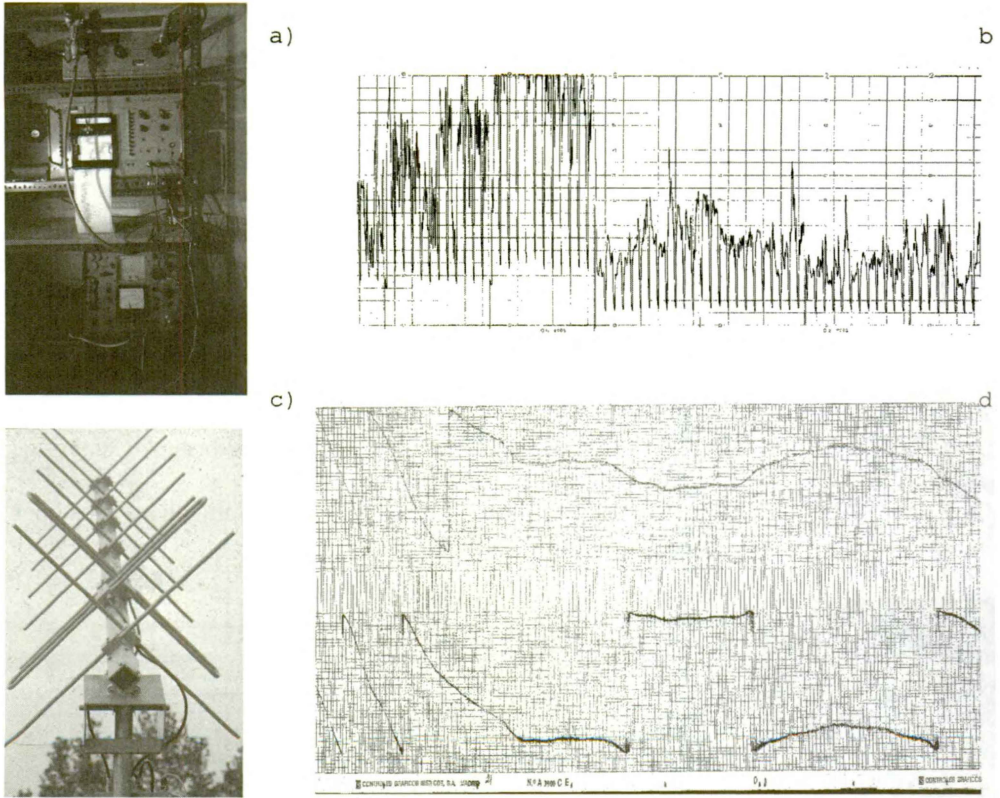


Figura 2. *a)* Detall de l'enregistrador d'absorció, *b)* exemple d'un registre d'absorció, *c)* detall de l'antena Yagui creuada *d)* registre de rotació de Faraday emès pel satèl·lit SIRIO amb una Yagui creuada.