

CURS: OPERATIVA EN SATÈL·LITS LEO EN 10 LLIÇONS + FINAL

per Luis del Molino EA3OG (ea3og@ure.es <http://radioaficion.biz>)

CAPÍTOL 1:

Introducció als satèl·lits LEO: els Cubesat

Aquí se t'explica tot el que hauries de saber sobre els LEO i els Cubesat, i se't mostra tota la informació sobre satèl·lits que trobaràs a la web d'AMSAT.

Introducció

Explicarem aquí tot el que hauries de saber sobre l'operació en satèl·lits LEO (*Low Earth Orbiting Satellites*), els satèl·lits d'òrbita baixa, i especialment sobre els microsatèl·lits anomenats Cubesat, un model proposat pel català, Jordi Puig Suari, professor de Cal Poly (Universitat Politècnica de Califòrnia), juntament amb Bob Twiggs, professor de la Universitat de Stanford. Aquests petits satèl·lits giren molt a prop de la superfície terrestre i això els fa molt barats de col·locar en òrbita, perquè el coet llançador no necessita assolir els 36.000 km d'altitud dels geostacionaris (GEO).

Els satèl·lits anomenats GEO necessiten aquesta tremenda altitud per romandre estables sobre el mateix punt de la Terra, girant perfectament sincronitzats amb ella, i això encareix enormement la seva fabricació i el seu llançament. Per això el gran èxit dels diminuts Cubesats, i fins i tot dels Picosatèl·lits, encara més petits, dels quals amb un sol coet es poden llançar diverses dotzenes, i fins i tot s'han arribat a llançar un centenar d'una vegada.

Al llarg d'aquest capítol, passarem revista a totes les característiques principals que els caracteritzen, així com les antenes que equiben i, en conseqüència, plantejarem les antenes que necessitem per rebre'ls, els equips adequats per operar-hi, que en FM no necessiten tenir res especial, així com els obstacles que se'ns presenten per aconseguir QSOs a través d'ells i com superar-los un a un, cosa que és molt més fàcil del que sembla, només tenint en compte quatre cosetes imprescindibles per arribar-hi.

Les òrbites dels LEO

Els LEO donen voltes a la Terra a una altitud entre uns 500 i 1500 km, perquè els 500 km són la mínima altitud necessària per circular sense veure's frenats, per la qual cosa han de circular una mica per sobre de l'última capa de la ionosfera, la capa ionitzada F2 (que arriba als 400 km), la que nosaltres utilitzem per fer els DX, un problema que sí que té l'estació espacial (ISS = *International Space Station*), que gira només a 450 km d'altitud i ha de ser accelerada periòdicament per un llançador rus per mantenir-se a la seva òrbita.

La distància determina la potència necessària

En comparar les diferències entre un satèl·lit LEO i un GEO, descobrirem que, si escollim per exemple un LEO que orbiti a 560 km d'altitud, la seva òrbita és ni més ni menys que 64 vegades ($36.000/560=64$) més propera que la d'un GEO (figura 1), de manera que operar amb qualsevol GEO exigeix augmentar la potència equivalent radiada ni més ni menys que en +36 dB a

l'estació base per arribar-hi amb el mateix senyal que el que rep un LEO, perquè és a una distància que hem hagut de doblar 6 vegades ($64 = 2^6$). I cada vegada que es doblaga la distància, hem de quadruplicar la potència (+6 dB) per aconseguir mantenir el mateix senyal al receptor.

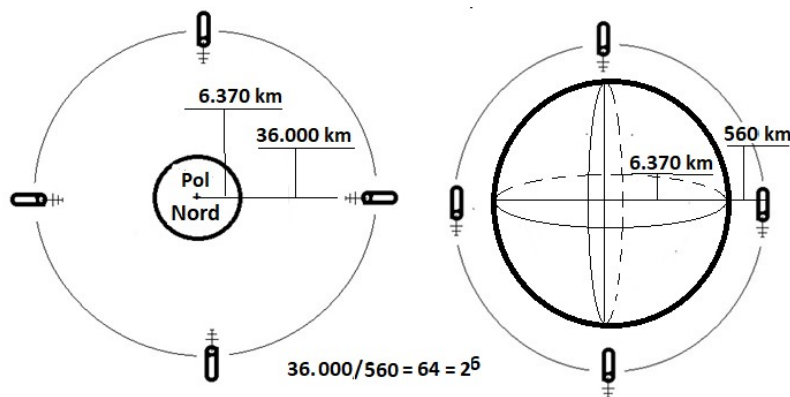


Figura 1: Un GEO és troba a 64 vegades la distància d'aquest LEO

Aquesta potència radiada més gran és relativament fàcil d'aconseguir en una estació terrena, però costa molt aconseguir els +36 dB en la transmissió des d'un GEO, que està alimentat pels seus panells solars i disposa d'una bateria per mantenir-lo en funcionament quan no està il·luminat pel Sol, perquè es troba en eclipsi i, per tant, en la foscor, cosa que passa durant unes 1,5 hores diàries aproximadament.

Òrbites gairebé polars i gairebé circulars

A diferència dels GEO que giren en òrbites equatorials i que, en conseqüència, no són capaços de visualitzar tota la Terra, perquè no arriben a pols geogràfics, els LEO es col·loquen amb òrbites gairebé polars, és a dir, la majoria tenen òrbites el pla forma un angle recte respecte al pla de l'equador, una mica més de 90° , angle que s'anomena "inclinació" i que es mesura a la cruïlla de l'òrbita ascendent (de Sud a Nord) amb el pla equatorial (figura 2).

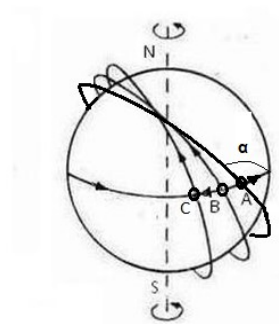


Figura 2: La inclinació d'un LEO és generalment $\alpha > 90^\circ$

Encara que totes les seves òrbites, com ja va descobrir Kepler al seu dia, són realment el·líptiques, les dels LEO són gairebé circulars perquè tenen una excentricitat molt petita (només alguna deu mil·lèsima), i l'altitud a què evolucionen sobre la superfície terrestre (descomptant les muntanyes altes com l'Everest) es pot considerar pràcticament constant.

Els LEO abasten tota la superfície terrestre

Com que la Terra gira al voltant del seu eix N-S, mentre l'òrbita dels LEO roman constant a l'espai, els LEO a latituds mitjanes poden ser vistos almenys un parell de vegades al dia des de tots els punts de la superfície terrestre, en grups de tres passades seguides, ja que cada volta seva es completa al voltant de 90 minuts, cosa que representa que arriben a voltar la Terra en una mica més de 15 voltes completes cada dia i no queda cap racó del món fora del seu abast.

El primer pas de cada triplet acostuma a ser molt baix sobre l'horitzó i de curta durada ($< 10^\circ$), mentre que el passi intermedi (uns 90 minuts més tard) passa generalment amb una bona elevació (en un 90% de les passades per sota de 60°) i amb una durada suficient (al voltant de 9-11 minuts) per permetre una bona operativa. Finalment, la tercera passada del triplet acostuma a ser menys accessible amb una elevació més aviat baixa i una durada molt curta (figures 3 i 4).

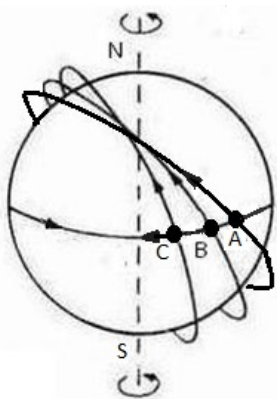


Figura 3: Triple passi ascendent

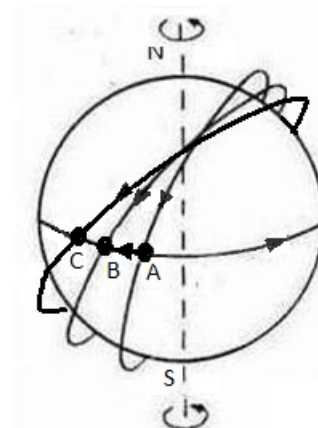


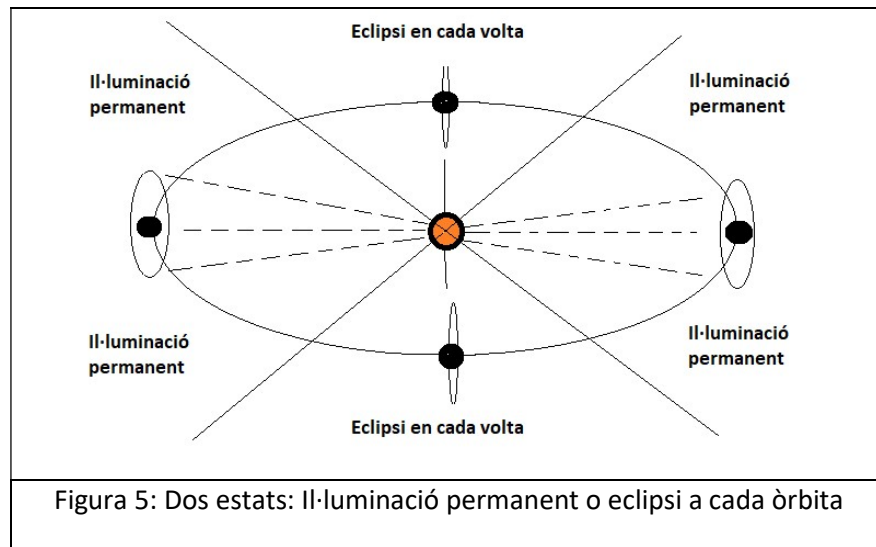
Figura 4: Triple passi descendent

Nosaltres, per intentar contactes amb més garanties i tranquil·litat, escollirem preferentment el passi central de cada triplet de passades ascendents o dels descendents, ja que fins que no tinguem una bona pràctica operativa, no serem capaços d'aprofitar el curt espai de temps que ens proporciona el primer i el tercer passi accessible del triplet per la seva escassa elevació.

Dos estats: il·luminació permanent i eclipsi

Tenint en compte que la seva òrbita roman força estable a l'espai, com veiem a la figura 5, al llarg d'un any de funcionament (si no ha mort), un LEO experimenta dos estats totalment diferents, ja que al llarg de les quatre estacions de l'any, o més aviat quatre trimestres, es trobaran en dos estats molt diferents: un parell d'estacions (o millor trimestres) aconseguirà estar permanentment il·luminat i obtenir la màxima energia del Sol, mentre que durant les altres dues estacions o trimestres, a cada òrbita passarà per un eclipsi perquè passarà a la nit

darrere de la Terra i es quedarà sense il·luminació solar durant una mica menys de mitja òrbita.



El pas per un “eclipsi” obliga que la bateria hagi de mantenir en funcionament tots els sistemes del satèl·lit i aquest es veu obligat a reduir-ne el consum al mínim possible per limitar la descàrrega de la bateria i, en aquests moments, quan es troba a la foscor, normalment solen desconnectar qualsevol transponedor situat a bord d'un Cubesat i fins i tot reduir la potència de transmissió de la telemetria.

El Cubesat típic

El model que va proposar Jordi Puig Suari consisteix en una cub de 10 x 10 x 10 cm i un pes total inferior a 1 kg (figura 6), perquè això permet estandarditzar el calaix llançador amb molls, anomenat P-POD (*Poly-PicoSatellite Orbital Deployer*), encara que també aquest calaix pot llançar Cubesat dobles (2U) i triples (3U), ja que en el mateix llançador simultani hi caben fins a 6 unitats, encara que suposo que n'hi ha d'haver fins i tot més llargs.

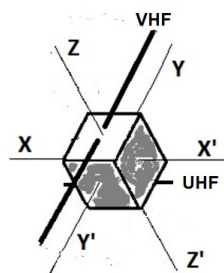
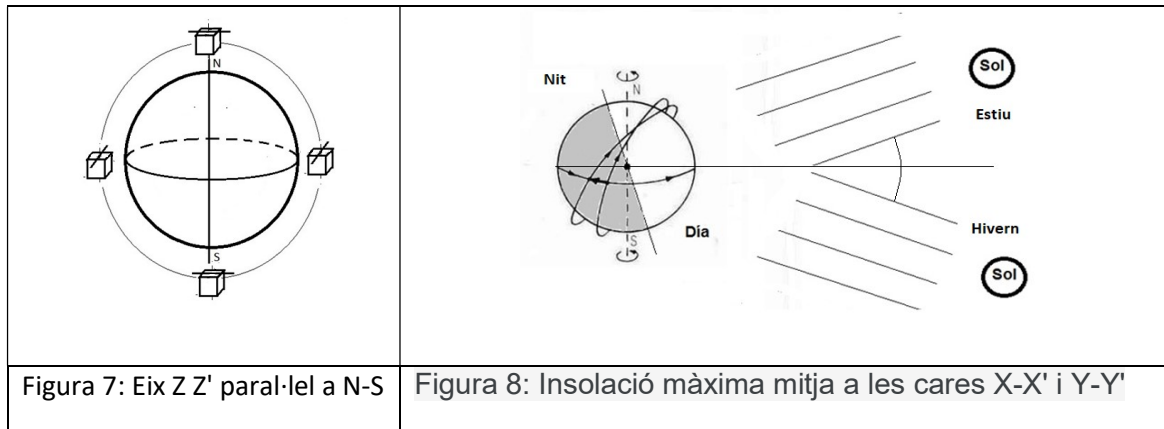


Figura 6: Model estàndard de Cubesat 1U

Tal com es veu a la figura 6, normalment un Cubesat consta de 4 panells solars situats a les cares laterals del cub i perpendiculars als eixos X-X' i Y-Y', mentre que a les cares perpendiculars a l'eix Z-Z' solen trobar-se les antenes, normalment dipòls desplegable de flexo que es deixen anar després del llançament

Una bona “actitud”

S'anomena "actitud" la posició més estable que s'intenta que adopti qualsevol satèl·lit a l'espai en relació amb l'eix de la Terra. Normalment es pretén que amb el temps deixi de fer tombos i s'estabilitzi realitzant un lent gir al voltant de l'eix Z-Z' (figura 8), de manera que aquest eix quedi tan paral·lel tant com sigui possible a l'eix de la Terra.



Aquesta actitud té l'avantatge que els panells solars, situats a les cares laterals del cub reben, independentment de l'estació, la major insolació possible (figura 8), sumant la mitjana de la il·luminació estiu/hivern, mentre que als equinoccis de primavera /tardor quedaran força perpendiculars als raigs solars.

Aquesta bona actitud es pot aconseguir de dues maneres diferents, que depenen de la mida del satèl·lit:

1. Per mitjans "actius": els Cubesats més grans disposen de sensors del camp magnètic de la Terra i utilitzen electroimants actius que s'accionen sincrònicament per estabilitzar-los i proporcionar-los l'actitud i la rotació desitjada amb l'angle correcte respecte del camp magnètic terrestre.
2. Per mitjans "passius" (figura 9): els més petits utilitzen un sistema que consisteix a pintar a un costat de cada cara una franja brillant i reflectora, i una altra fosca i absorbent a l'altra banda de la mateixa cara. La pintura brillant reflectora rep més impuls fotònic que la pintura negra absorbent i el resultat és un lleugeríssim parell de forces de gir que impulsa la rotació del satèl·lit, de manera que amb el temps es posa a girar a poc a poc a la posició desitjada.

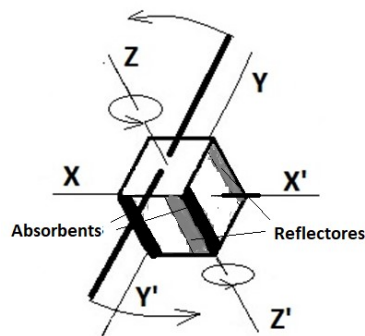


Figura 9: Tira fosca i una altra de brillant

Aquest sistema porta a l'actitud correcta d'una manera molt més lenta, però finalment produirà un gir estabilitzador que continuaria accelerant-se indefinidament, si no fos perquè també es col·loquen al seu interior unes barres ferromagnètiques que frenen aquesta acceleració mitjançant la interacció amb el camp magnètic terrestre, de manera que finalment arriben a una velocitat de gir estable molt lenta de més o menys alguna volta per minut.

El seguiment al dia amb AMSAT (AMateur SATtelit)

Per operar amb satèl·lits, necessitem estar ben informats sobre el seu estat i funcionament, i a les pàgines de l'associació nord-americana AMSAT (www.amsat.org) hi ha la millor informació disponible i posada al dia sobre satèl·lits. Què està en anglès? Per navegar per aquesta pàgina i trobar aquesta informació no cal conèixer més que les quatre típiques paraules angleses que tot radioaficionat ha d'haver sentit alguna vegada. La figura 10 mostra la pàgina d'entrada al web i, just al centre, apareixen les paraules màgiques: “*Satellite Info*”.

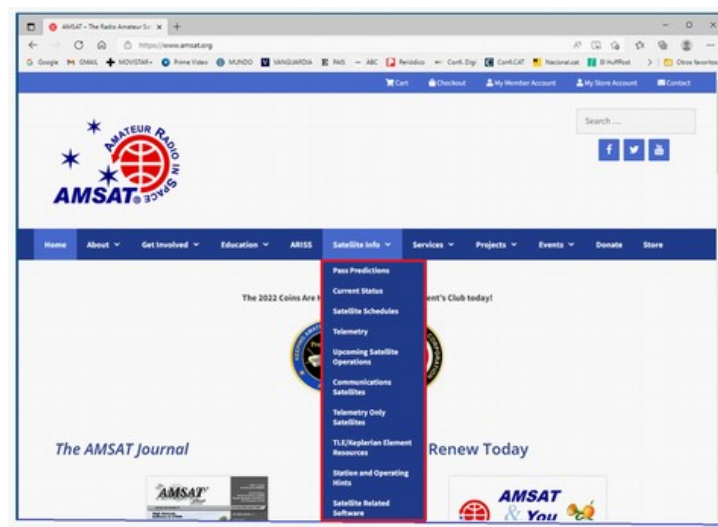


Figura 10: La web d'AMSAT: www.amsat.org

Satèl·lits amb transponedor de FM

No són gaires els que equiper un transponedor en FM, perquè la llista de satèl·lits actius és més aviat curta i es troba fàcilment, clicant primer a “*Satellite info*” i després a l'opció central “*Communications Satellites*” (figura 11). En primer lloc apareixen llistats precisament els satèl·lits que en aquell moment disposen d'un repetidor en banda creuada que opera amb un sol canal de FM i, per descomptat, també a continuació apareix la llista completa de satèl·lits que utilitzen transponedors lineals de banda ampla i que són aptes per comunicar en SSB i CW, però aquesta és una altra història en la que aprofundirem en un altre capítol.

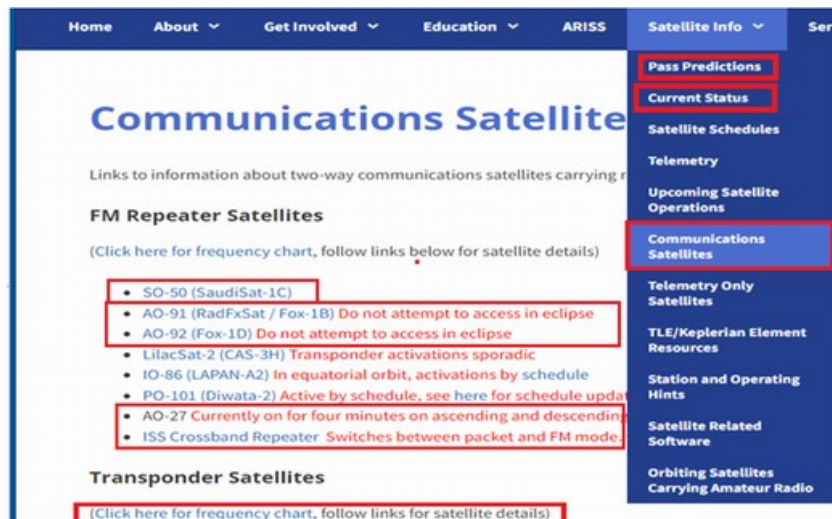


Figura 11: Satèl·lits amb transponedor de FM a www.amsat.org

Entre parèntesis de vegades s'especifica quan el transponedor està operatiu, perquè l'energia de la bateria és limitada i alguns només es poden utilitzar quan NO estan en eclipsi (en la foscor,) perquè no disposen de prou energia per a la transmissió, si els panells solars no estan il·luminats pel Sol.

Clicant en cadascun dels noms dels satèl·lits, normalment s'accedeix a una pàgina on estan detallades les freqüències operatives d'entrada i sortida del satèl·lit i el seu horari, amb les quals podrem sintonitzar l'equip o equips que utilitzarem, encara que com veurem més endavant, als programes de seguiment ja contenen integrades i posades al dia les freqüències de gairebé tots els coneguts fins ara, perquè puguin corregir automàticament l'efecte Doppler sobre la marxa en temps real, efecte que explicarem més endavant.

Són vius tots ells?

La mort per silenci total és molt habitual al món dels satèl·lits, perquè l'espai és un ambient terriblement hostil per culpa de la radiació còsmica, que destrossa les CPUs i les memòries, de manera que qualsevol Cubesat pot deixar de funcionar en qualsevol moment. Així que el primer que ens interessa saber és si han estat escoltats recentment i, per això, abans que res, hem de comprovar la seva activitat actual, clicant a la segona opció "Current Status" (estat actual) (requadre en vermell a la figura 11), on trobem la informació més actualitzada proporcionada per operadors que han informat que l'han escoltat en els darrers 6 dies, tal com es mostra a la figura 12 i que inclou tots els satèl·lits actius.

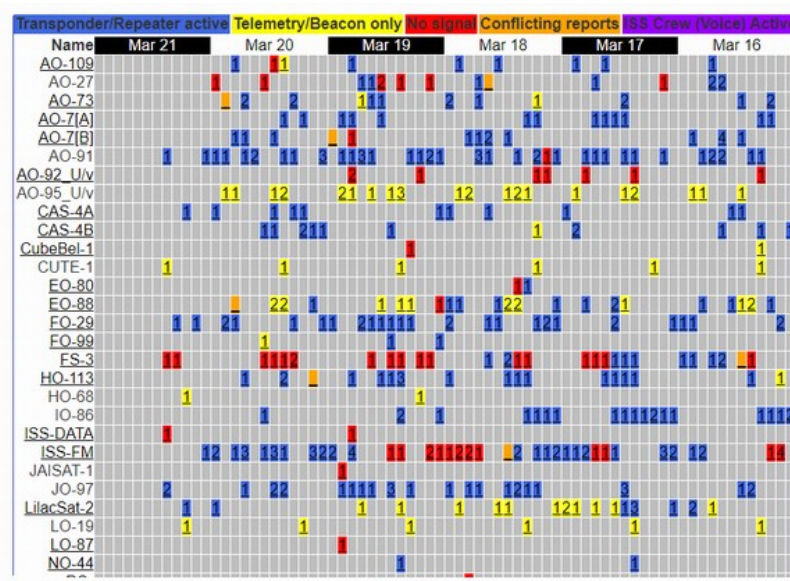


Figura 12: *Current Status* = Estat operatiu dels satèl·lits

A la part superior apareix la data dels darrers 6 dies i cada satèl·lit disposa d'una línia en què estan indicats, mitjançant requadres “blaus”, quan han estat escoltats funcionant com a repetidors, o bé amb requadres “grocs” per indicar que només se n'ha sentit la telemetria, mentre que els requadres “vermells” assenyalen els que no han estat escoltats quan devien. Els requadres violetes són molt infreqüents perquè només s'apliquen si algun astronauta ha estat escoltat operant com a radioaficionat, cosa que actualment poques vegades passa.

Les previsions de les passades (efemèrides a l'argot)

El tercer element que necessitem conèixer per planificar la nostra operativa consisteix a esbrinar quan el satèl·lit desitjat estarà al nostre abast i, per això, a AMSAT podem recórrer a la primera línia del desplegable de la figura 11 i que porta per títol “Pass Predictions” (previsions de passis) i que es mostra a la figura 13.

Allí escollirem el satèl·lit que ens interessa al desplegable “*Show Predictions for:*”; després entrarem el nostre locador a Gridsquare i cliquem a Calculate Position perquè s'omplin les dues caselles amb les coordenades *Decimal Latitude* i *Decimal Longitude* de la quadrícula de la nostra ubicació. Només ens falta entrar l'altitud de la nostra antena en metres sobre el nivell del mar a “*Elevation in meters AMSL*”, xifra que podrem obtenir buscant amb el punter del ratolí el nostre QTH al programa Google Earth, que podem descarregar de Google.

Show Predictions for: **ISS** for Next **10** Passes
 Calculate Latitude and Longitude from Gridsquare: **JN11BJ** Calculate Position
 Or
 Enter Decimal Latitude: **41.3959** North
 Enter Decimal Longitude: **2.125** East
 Elevation in meters AMSL: **98**
 Predict
☒ Save my location for later use

Figura 13: Prediccions de passis (efemèrides)

Cliquem sobre el requadre “Predict” perquè ens proporcioni un llistat de les properes passades del satèl·lit escollit, tal com es mostra a la figura 14, concretament aquí per exemple per a l'estació espacial ISS, on les columnes que més ens interessin són les emmarcades en vermell, especialment les encapçalades amb les dues paraules *Maximum Elevation* i l'hora d'adquisició AOS (hora UTC), a banda de la columna inicial amb la data en què suposo ja t'hauràs fixat.

Les prediccions només les fa per uns quants dies per endavant i que depenen de la xifra col·locada a l'angle superior dret (“Next = 10 Passes”) de la figura 13 que ha de contenir el nombre de passades següents a calcular, valor que es pot augmentar a voluntat per a que les prediccions afegeixin algun dia més.

AMSAT Online Satellite Pass Predictions - ISS							
View the current location of ISS							
Date (UTC)	AOS (UTC)	Duration	AOS Azimuth	Maximum Elevation	Max El Azimuth	LOS Azimuth	LOS (UTC)
21 Mar 22	16:30:58	00:08:50	184	11	123	74	16:39:48
21 Mar 22	18:06:14	00:10:55	235	85	310	55	18:17:09
21 Mar 22	19:43:47	00:10:09	275	20	334	51	19:53:56
21 Mar 22	21:21:47	00:09:37	302	15	2	65	21:31:24
21 Mar 22	22:58:55	00:10:32	309	27	40	98	23:09:27
22 Mar 22	00:35:41	00:10:46	301	45	208	141	00:46:27
22 Mar 22	02:13:59	00:06:14	271	4	230	200	02:20:13
22 Mar 22	15:44:10	00:07:04	166	6	125	84	15:51:14
22 Mar 22	17:18:23	00:10:49	223	55	130	58	17:29:12
22 Mar 22	18:55:32	00:10:21	266	24	322	50	19:05:53

Figura 14: Prediccions de les properes passades de la ISS.

Planificació del passi

Escollirem l'òrbita que ens interessi perquè la seva màxima elevació ens convingui en no ser massa baixa ($< 10^\circ$) perquè el satèl·lit no s'eleva sobre l'horitzó el temps suficient per fer un bon contacte, mentre que el 90% de les òrbites es troba sota una elevació de 60° .

Escollirem un passi que ens sembli el més adequat per al diagrama d'elevació de la nostra antena, com ara el del requadre horitzontal en vermell del dia 22/03/2022 a les 00.35 UTC (nit del 21), que passa amb una màxima elevació de 45° pel nostre Sud-sud-oest (acimut 208°). Amb aquestes dades, podrem planificar la trajectòria de la projecció, dibuixant un gràfic que

més o menys podria ser com el de la figura 15, utilitzant els paràmetres d'aquesta òrbita i calculant l'hora del passi pel màxim d'elevació sobre l'horitzó, que serà equidistant entre el moment de l'AOS ("Acquisition of Satellite") i del LOS ("Loss of satellite") o sigui la seva pèrdua o desaparició sota l'horitzó.

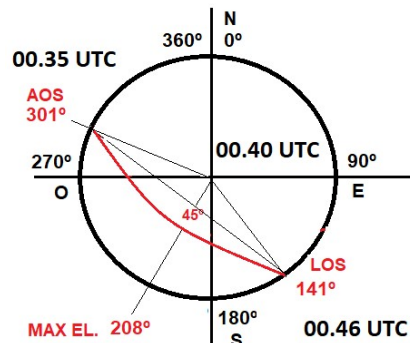


Figura 15: Planificació gràfica del passi de la ISS

Informació del passi en temps real

Punxant a la línia en lletres blaves de la capçalera de la figura 15 titulada "View the current location of ISS" ens apareixerà un mapa on s'indica la posició i la trajectòria del satèl·lit, però hem de reconèixer que aquesta informació en temps real que ens proporciona AMSAT (figura 16) és inútil i molt decebedora, perquè no ens serveix de res per al seguiment. Realment el que necessitaríem seria que ens indiqués l'adreça de l'azimut i l'angle d'elevació a cada moment del passi, així com l'àrea de cobertura vista des del satèl·lit i, malauradament, la pàgina AMSAT no proporciona cap de totes aquestes informacions vitals.

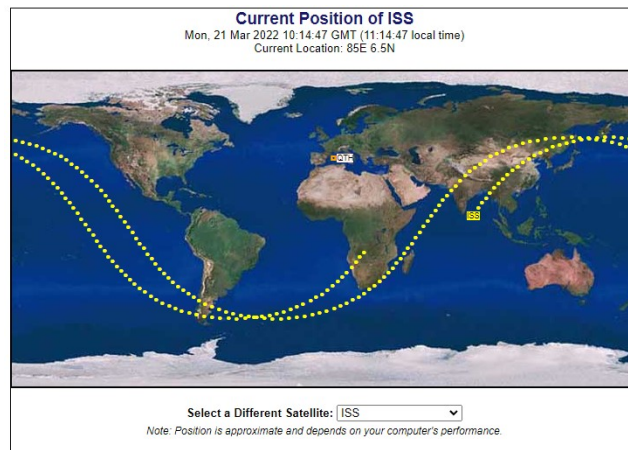


Figura 16: Mapa con la posición del satélite en tiempo real

Molt em temo que aquesta deficiència informativa es deu clarament al fet que estan més interessats en que compres algun programa de seguiment a la seva botiga, si vols seguir el satèl·lit en un mapa en temps real o aconseguir fer el seguiment automàtic amb les teves antenes directives. Però això té fàcil arranament i podreu comprovar-ho en el següent capítol.

CAPÍTOL 2

PROGRAMES DE SEGUIMENT DE SATÈL·LITS

En què s'exposen els millors programes per al seguiment de satèl·lit, els que et calculen quan passaran a tir i per on passaran exactament en el futur i en temps real.

Programes recomanats per AMSAT

A la primera línia, de la pàgina principal d'AMSAT (<http://www.amsat.org>), bé a la dreta apareix com a opció la paraula “Store” (botiga), amb la qual AMSAT ens dóna accés a la venda de productes i allà buscarem l'opció “Software” en què ofereix fins a tres programes de seguiment disponibles, per a tres sistemes operatius diferents que es mostren a la figura 1.



Figura 1: Programes de seguiment recomanats per AMSAT

El programa per a Windows que recomanen és el SatPC32 (figura 2), perquè és el més complet per al control del Doppler i el seguiment de satèl·lits, ja que és el que permet controlar dos equips (un receptor i un transmissor) independentment i poder operar en *full-duplex* amb tota comoditat, encara que l'equip receptor sigui un receptor SDR addicional.

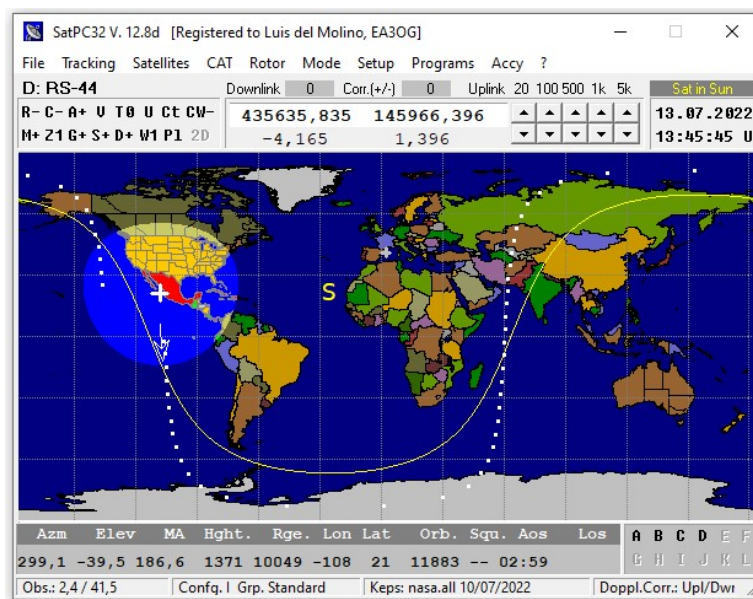


Figura 2: Programa de seguiment SatPC32

Del programa SatPC32 en parlarem llargament en altres capítols d'aquesta sèrie i exposarem amb detall tota la configuració i el funcionament amb la majoria d'equips comercials del mercat.

Si disposeu d'un ordinador Mac, AMSAT recomana el programa MacDoppler, però jo no dispo de cap Mac i no puc opinar sobre aquest programa.

Pel que fa al programa per a la Raspberry Pi, he intentat comprar-lo, però no m'han volgut vendre per no residir als EUA, per la qual cosa tampoc he pogut provar-lo per informar-vos sobre ell.

Seguiment de satèl·lits amb SDR-Console

Una de les possibilitats més interessants és agenciar-se un SDR com a receptor independent per poder operar en *full-duplex* (transmissió i recepció simultànies) en FM, encara que no sigui imprescindible, però sí que és indispensable l'operació en *full-duplex* en SSB i CW. El programa ideal per manejar un receptor SDR és el SDR Console de Simon Brown, un programa excel·lent i molt complet, que pot funcionar amb gairebé tots els receptors SDR actuals i es pot descarregar de <https://www.sdr-radio.com/>, Però podria ser que ja el tingueu i que no us haguéssiu adonat que també inclou un programa de seguiment de satèl·lits (figura 3). Busca'l a "View->"More Options"-> "Satellites".

El gran avantatge d'aquest programa receptor per a SDR és que, a banda de controlar la freqüència del propi receptor, també permet ser controlat des del programa SatPC32, amb només afegir al PC un port COM virtual, dels quals n'hi ha infinitat a Internet i, un cop instal·lat, permet connectar-lo amb el programa de seguiment a les opcions "Tools" -> "Options" -> "Controllers" -> "CAT (Serial Port)".

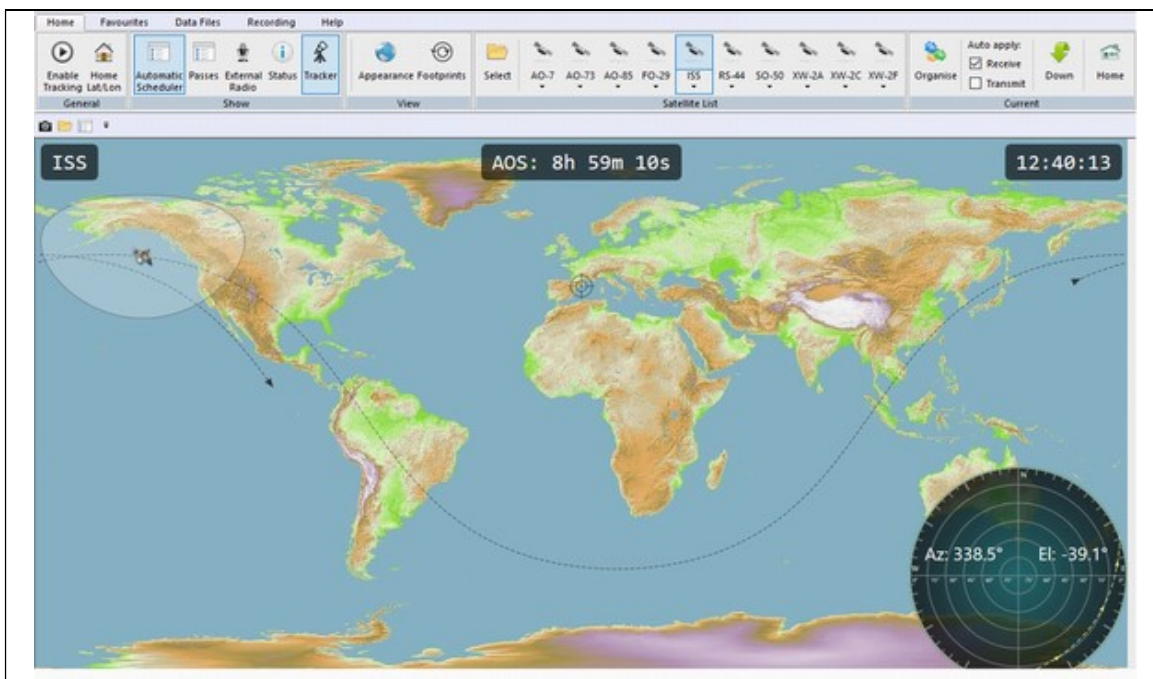
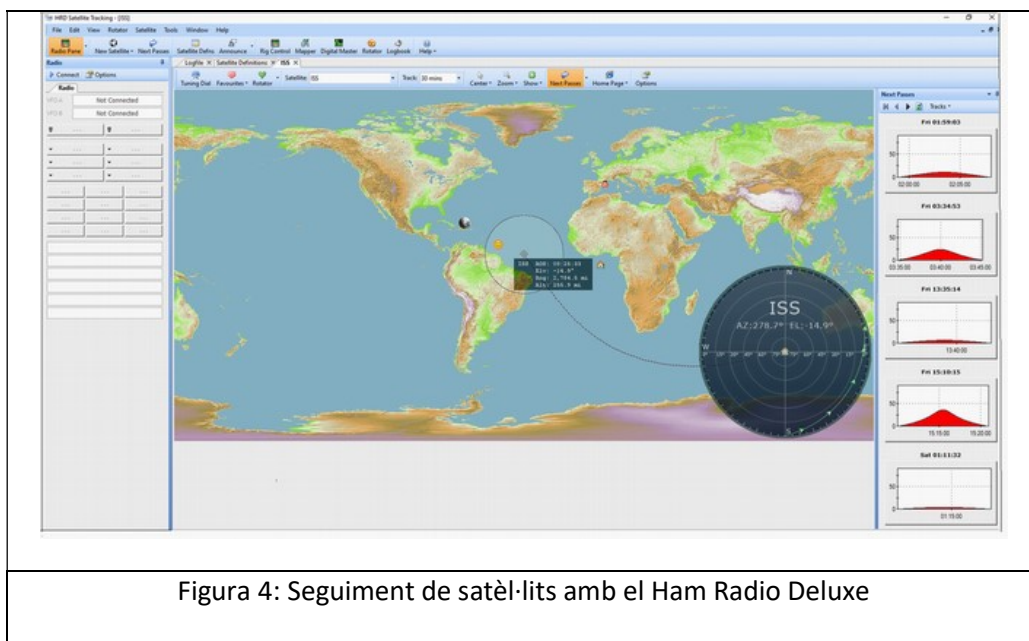


Figura 3: Seguiment de satèl·lits al programa SDR-Console de Simon Brown

El programa SatPC32 es configura per manejar un equip Kenwood TS-2000 perquè el programa Radio Console respon perfectament a totes les ordres del control de la freqüència d'un equip Kenwood i això li permet compensar la desviació Doppler de freqüència produïda pel moviment del satèl·lit, tema al qual dedicarem un capítol íntegre més endavant.

Seguiment de satèl·lits amb Ham Radio Deluxe

Si mai t'has instal·lat el programa de control remot de transceptors universal Ham Radio Deluxe, suposo que ja sabràs que inclou també un bon programa de seguiment de satèl·lits i que realitza el control automàtic i la correcció del Doppler amb els equips més coneguts, inclosos els que funcionen ja en *full-duplex* per a 144 i 432, com per exemple els ICOM 910, 9100 i 9700, i el Kenwood TS-2000, però no he estat capaç d'aconseguir que controlï el Doppler de dos equips separats, per la qual cosa no permet controlar la freqüència de recepció d'un receptor SDR adicional, tret que ho hagin afegit sense que jo m'hagi assabentat (figura 4).



Seguiment amb el programa Orbitron

Un programa gratuït i molt senzill i que es pot configurar totalment en castellà i en català, a més de ser força manejable, és l'Orbitron de Sebastian Stoff (<http://www.stoff.pl>), molt adequat per al qual no necessitz controlar-ne equips per CAT per corregir el Doppler (per FM no és indispensable), doncs encara que permet la connexió d'algun programa SDR (com per exemple el SDRSharp), només funciona d'una manera unidireccional, cosa que ho fa només adequat per al control de la freqüència en operar en FM, tant en *simplex* com en *full-duplex*, quan gairebé no es necessita moure el dial del receptor.

Però malauradament no serveix per a l'operació en *full-duplex* en SSB i CW (figura 5), ja que en aquestes modalitats necessitaríem que ens recalculi el Doppler quan movem el dial de l'equip, perseguint estacions de SSB i CW a la banda passant del transponedor, i l'Orbitron no ho recalcula.

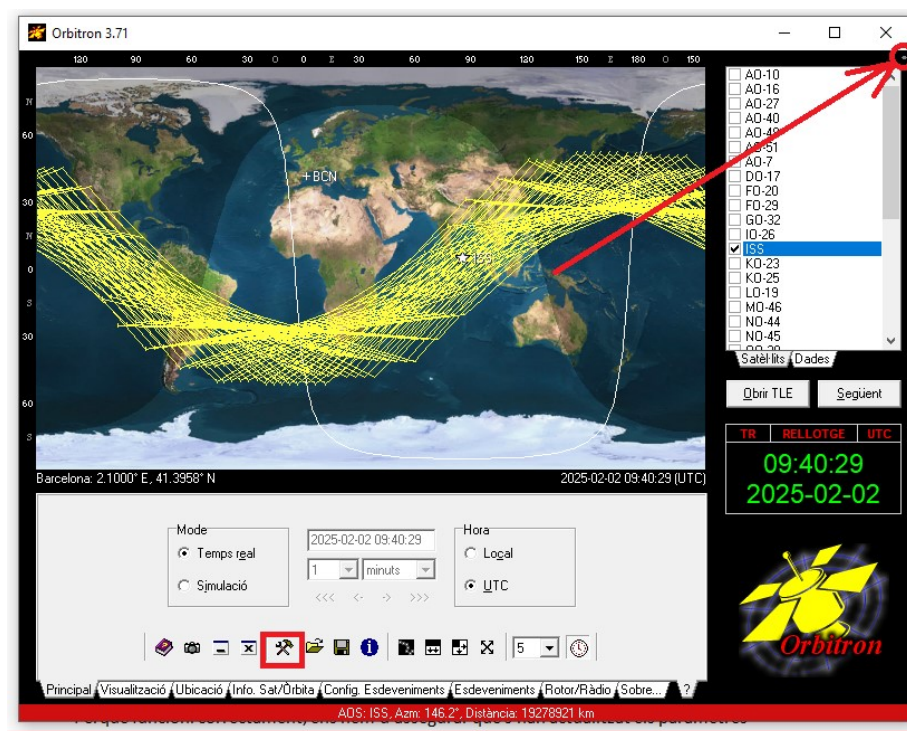


Figura 5: Pantalla inicial de l'Orbitron en català

De tota manera, un cop instal·lat, com tots els programes de seguiment, no funciona correctament fins que haguem configurat la nostra ubicació i moltes altres opcions, per escollir finalment els satèl·lits que desitgem visualitzar a la pantalla, que s'escullen en una llista situada al costat dret del mapa.

Perquè funcioni correctament, ens hem d'assegurar que s'han actualitzat els paràmetres orbitals o keplerians, clicant sobre la icona d'eines, destacada amb un requadre vermell a la figura 5 i que permet accedir a la pantalla d'actualització de la figura 6. Un altre truc difícil de descobrir és que moltes opcions addicionals es troben en un punt molt poc visible situat a l'angle superior dret, a sobre de la llista de satèl·lits disponibles i que a la figura 5 s'assenyala amb una fletxa vermella.

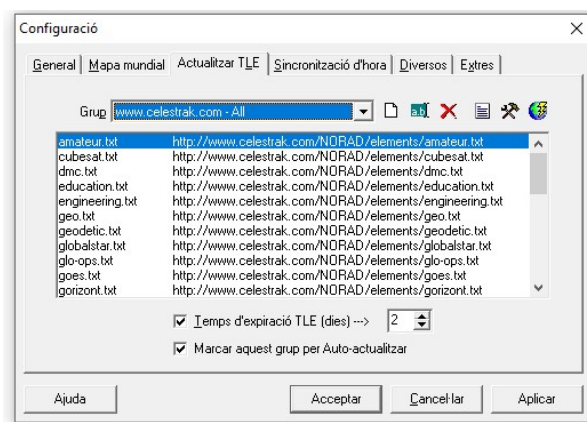


Figura 6: Actualització dels paràmetres amb l'Orbitron

Nota: Us recomano que us assegureu d'aquesta actualització dels paràmetres orbitals actuals forçant a mà la descàrrega del fitxer "amateur.txt". Crec que des d'aquest estiu cal canviar l'extensió dels fitxers de www.celestrack.com per www.celestrack.org perquè ha canviat de servidors, però a l'hora d'escriure aquest text seguia funcionant la de sempre com abans.

Configuració de l'Orbitron

Les configuracions més recomanables per a aquest programa les detalla a continuació a la figura 7:

The figure consists of four screenshots of the Orbitron software interface, showing different configuration windows. Each window has a menu bar at the bottom: Principal / Visualización / Ubicación / Info. Sat/Órbita / Config. Efemérides / Efemérides / Rotor/Radio / Acerca de / ?

Mini radar window: This window contains two main sections. The left section, titled "Mini radar", has radio buttons for "Activo" (selected), "Inactivo", and "Auto", and checkboxes for "Nombres", "Dirección", and "Trayectoria". Below this is a section "Recorrido del satélite en seguimiento" with radio buttons for "Principio", "Mitad" (selected), and "Final". The right section, titled "Mostrar en el mapa", has checkboxes for "Sgl", "Luna", "Fase Lunar", "Terminador", "Sombra nocturna", "Nombres", "Trayectoria", "Trayectoria larga", "Superficie", and "Grilla". To the right of these sections are two buttons: "Mapa" and "Radar".

Ubicación window: This window is for setting a location. It has a "Nombre" field with "Barcelona" entered. Below it are fields for "Símbolo" (BCN), "Grilla" (JN11bj), and "Altura (m)" (88.0). There are also fields for "Longitud" (2.1250° E) and "Latitud" (41.3958° N), with a "Seleccionar" button. To the right are buttons for "Agregar", "Actualizar", "Quitar", and "Borrar lista". On the far right is a list box titled "World" containing a list of locations: Barcelona, Bardhaman, Bareilly, Bari, and Barinas.

ISS window: This window displays information about the International Space Station (ISS). It has a table with the following data:

Nombre	ISS
NORAD #	25544
Designación COSPAR	1998-067-A
Época (UTC)	2022-07-14 11:42:02
Órbitas hasta la época	34941
Inclinación	51.641
AR del Nodo Asc.	201.378

To the right of the table is a list of radio frequencies: DNLINK: 145.800* NFM Voice+packet, DNLINK: 437.800* NFM Repeater, DNLINK: 145.825 Packet+APRS, DNLINK: 437.800 NFM Repeater, UPLINK: 145.990 NFM Repeater, UPLINK: 145.825 Packet+APRS, UPLINK: 145.200 Region 1 voice, and UPLINK: 144.490 Region 2/3 voice.

Config. Efemérides window: This window is for configuring search filters. It has a "Buscar período" section with radio buttons for "Auto" (selected) and "Manual", and a "1" day period. Below this is a "Condiciones" section with checkboxes for "Iluminación requerida", "Altura del Sol < -5", "Altura del satélite > 4", and "Mag. mínima del flare 3.0". To the right is an "Extra" section with checkboxes for "Resultados cortos (1 línea/evento)", "Magnitud mínima 3.0", and "Ignorar si la mag. es desconocida". At the bottom is a "Buscar pasos para" section with radio buttons for "Todos", "Seguidos", and "Activos" (selected).

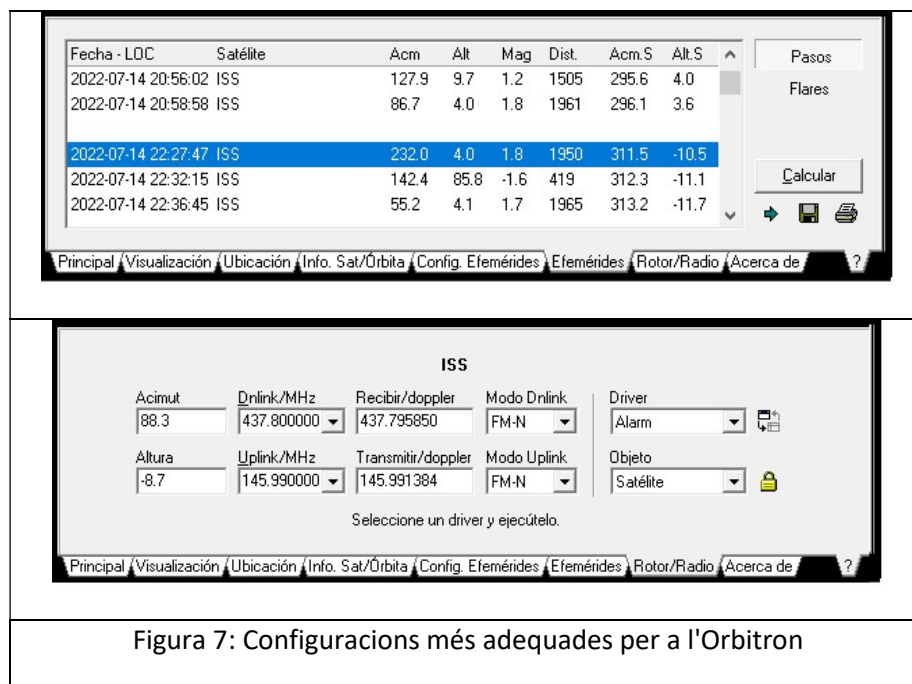


Figura 7: Configuracions més adequades per a l'Orbitron

Descàrrega del programa Sat PC32 des de la web d'AMSAT

Des de la botiga d'AMSAT se't redirigeix per descarregar-lo a la web del seu autor DK1TB: www.dk1tb.de/indexeng.htm, alhora que se't demana que contribueixis amb una donació a AMSAT per l'ús d'aquest programa. Però l'autor alemany permet descarregar-lo i que funcioni d'una manera gairebé totalment operativa sense fer aquesta contribució, encara que jo et recomano que la facis, perquè tots hauríem de contribuir d'alguna manera a l'esforç d'aquesta organització per mantenir-se al dia ben actualitzada, si som gent responsable.

Si no hi contribueixes, l'únic problema que se't presentarà en fer-lo servir consisteix en que, cada vegada que arrenquis el programa, et veuràs obligat a entrar des del teclat la Longitud i la Latitud del teu QTH en valors decimals, una petita molèstia que t'estalviaràs en el futur, si decideixes contribuir i registrar-te en AMSAT, amb la qual cosa en fer-ho rebràs en un parell de dies una clau que, un cop introduïda al programa, t'evitarà el problema d'haver d'entrar aquests valors cada cop que arrenquis el programa de seguiment.

Del programa SatPC32 en parlarem llarg i estès en un proper capítol per les seves excel·lents prestacions per al control del Doppler i l'operació a *Full-duplex* en SSB i CW no només amb tots els equips que són capaços d'operar en aquesta modalitat, sinó fins i tot amb dos equips separats en emissió i recepció. Que jo sàpiga és l'únic programa que permet el control CAT de dos equips independents, com ara un equip convencional i un receptor SDR de suport per a la recepció simultània del nostre propi senyal repetit a la banda oposada.

Actualització dels paràmetres keplerians

El primer que hem de fer sempre en iniciar aquest programa SatPC32 és actualitzar els paràmetres keplerians, descarregant el fitxer més recent que puguem trobar. Es recomana utilitzar i actualitzar únicament el fitxer "nasa.all", que apareix quan escollim la solapa

“Satèl·lits” de la capçalera del programa (figura 8). I hem de seguir les instruccions de cada requadre per descarregar-lo i desar-lo per utilitzar el nou a partir d'ara.

Aquests paràmetres, per si ens interessés afegir algun satèl·lit, es guarden a l'ordinador a la carpeta amb el path:

C:\Usuaris\“Nom de l'usuari”\AppData\Roaming\SatPC32\Keppler\nasa.all

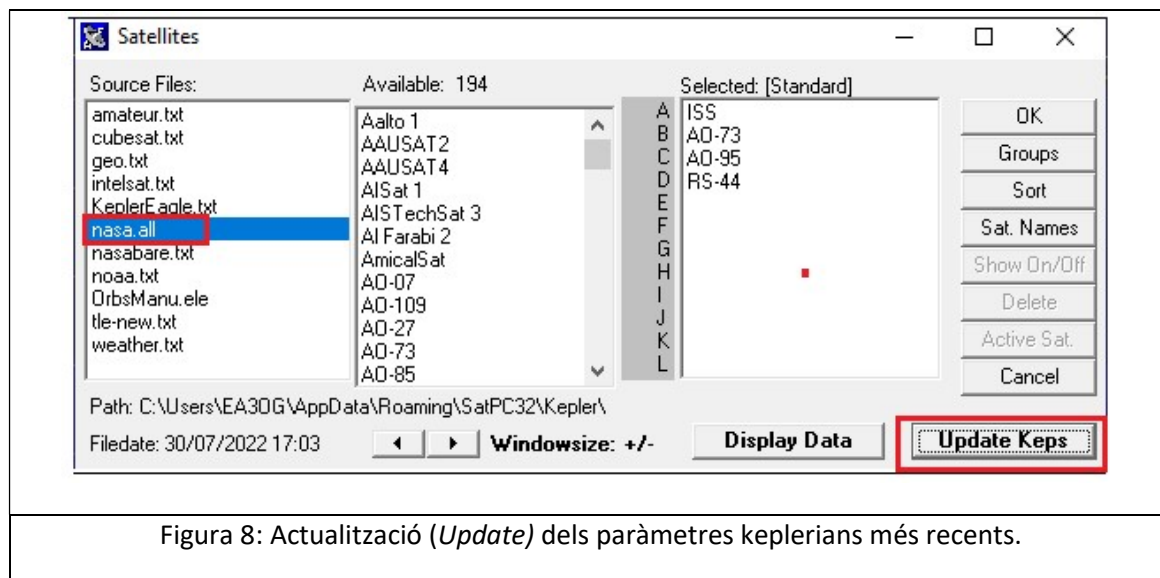


Figura 8: Actualització (*Update*) dels paràmetres keplerians més recents.

Aquest és l'arxiu que AMSAT manté al dia i que, en conseqüència, conté actualitzats els paràmetres keplerians de tots els satèl·lits de radioafionat més actualitzats, per la qual cosa normalment, si no necessitem localitzar algun altre satèl·lit d'un altre tipus, en tindrem prou amb aquest per localitzar tots els satèl·lits de radioafionat que ens interessin.

L'arxiu “nasa.all”

El format de l'arxiu “nasa.all” (figura 9) és complicat d'interpretar el significat de cadascun dels camps, perquè es basen en un sistema posicional i determinat per lletres. Es reproduïx a continuació perquè us en feu una idea, però només per si algun dia heu d'afegir algun satèl·lit del qual s'hagin publicat les dades de l'òrbita prevista al llançament. El significat dels paràmetres s'explica en un paràgraf posterior amb el format anomenat “Mode Verbose”, que és molt més clar i fàcil d'interpretar (figura 10).

```
SB KEPS @ AMSAT $ORB22216.N
2Line Orbital Elements 22216.AMSAT
HR AMSAT ORBITAL ELEMENTS FOR AMATEUR SATELLITES IN NASA FORMAT
FROM WA5QGD FORT WORTH,TX August 4, 2022
BID: ORB22216.N
DECODE 2-LINE ELSETS WITH THE FOLLOWING KEY:
1 AAAAAU 00 0 0 BBBB.BBBBBBBB .CCCCCCC 00000-0 00000-0 0 DDDZ
2 AAAAA EEE.EEEE FFF.FFFF GGGGGGG HHH.HHHH III.IIII JJ.JJJJJJ KKKKKZ
KEY: A-CATALOGNUM B-EPOCHTIME C-DECAY D-ELSETNUM E-INCLINATION F-RAAN
G-ECCENTRICITY H-ARGPERIGEE I-MNANOM J-MNMOTION K-ORBITNUM Z-CHECKSUM

TO ALL RADIO AMATEURS BT
```

```
ISS
1 25544U 98067a 22216.87392847 .00004933 00000-0 93604-4 0 9996
2 25544 51.6435 95.4112 0005287 82.6404 341.1630 15.50232030352733
RS-44
1 44909U 19096E 22216.42924824 .00000022 00000-0 45960-4 0 9991
2 44909 82.5209 198.4018 0216771 207.2999 151.6577 12.79714157121647
```

Figura 9: Part de l'arxiu "nasa.all" utilitzat per SatPC32

La modalitat "*verbose*" dels keplerians

Clicant a l'opció "Display Data" del SatPC32, a l'esquerra del requadre "Update" (figura 8), ens apareixen també aquests mateixos paràmetres per al satèl·lit escollit, però amb un altre format molt més clar (figura 10) i que n'explica significat al costat esquerre, sense haver de deduir treballósament de l'arxiu "nasa.all" amb el format anterior.

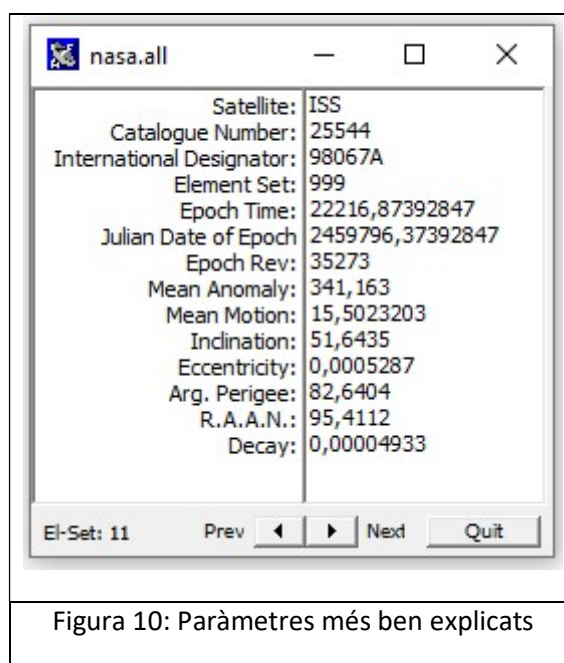


Figura 10: Paràmetres més ben explicats

Aquests paràmetres els podem classificar en tres grups de dades: 1r. Els que defineixen la posició del pla de l'òrbita a l'espai; 2n. Els que defineixen la forma i la mida de l'òrbita en aquest pla i 3r. Els que determinen la posició concreta del satèl·lit a la seva òrbita.

1r. Posició del pla orbital a l'espai

Per definir l'òrbita d'un satèl·lit, primer cal definir la posició a l'espai del pla de l'òrbita en relació amb l'equador terrestre i el pla de l'eclíptica, que és l'òrbita aparent que segueix el Sol al voltant de la Terra al llarg de un any.

Només necessitarem dos paràmetres (figura 11): l'angle d'inclinació respecte al pla de l'equador del pla de l'òrbita (**Inclination**) i l'angle que s'anomena Ascensió Recta del Node Ascendent (**R.A.A.N. o Right Ascension of Ascending Node**), que és el angle que formen la recta de la intersecció del pla de l'òrbita amb el pla equatorial (línia de nodes) i la recta que

assenyala el punt Vernal, és a dir la direcció a l'espai que consisteix en la intersecció del pla de l'equador amb l'eclíptica, que és l'òrbita aparent del Sol al voltant de la Terra (just al revés de la realitat) al llarg de l'any.

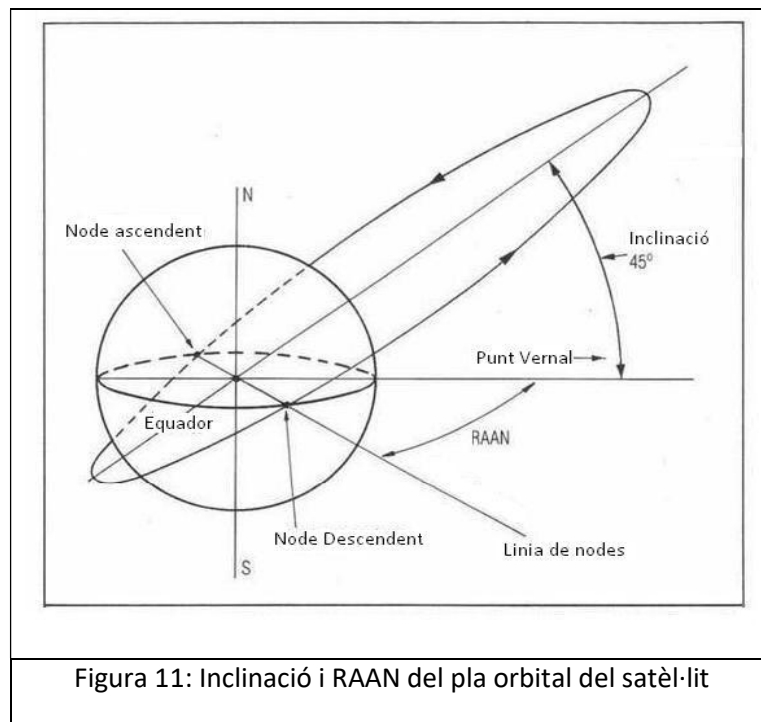
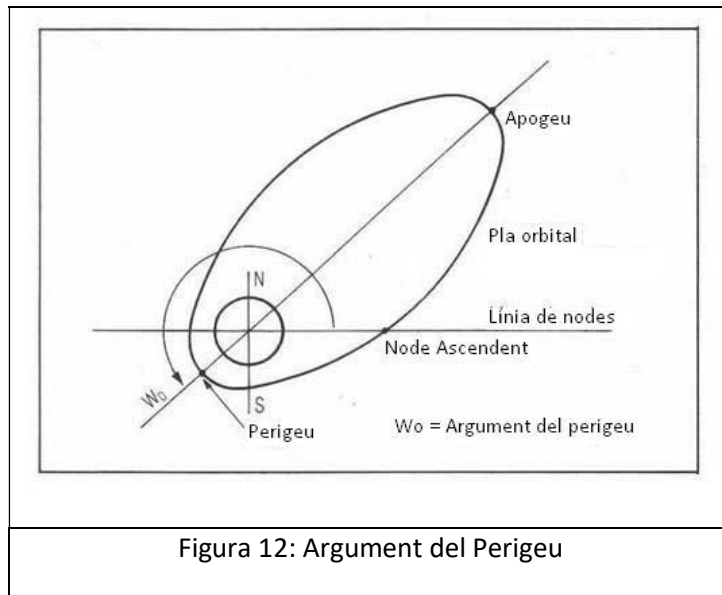


Figura 11: Inclinació i RAAN del pla orbital del satèl·lit

2n Forma, mida i posició en aquest pla

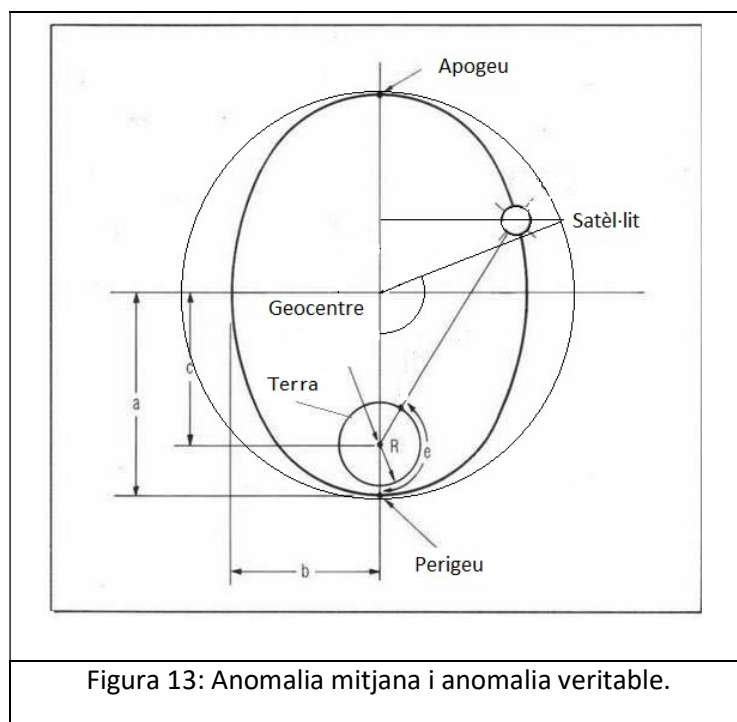
Ara, a continuació, hem de definir la mida i la forma de l'òrbita (sempre una el·lipse), que venen determinades per mitjà de dos paràmetres més que són en primer lloc l'excentricitat (**Eccentricity**) i el moviment mitjà (**Mean Motion**) que ens indiquen el nombre de revolucions per dia o sigui el nombre exacte de passades per un node ascendent que realitza el satèl·lit al voltant de la Terra en 24 hores. En realitat aquesta darrera xifra és la inversa del període calculat en dies amb decimals. Pel que fa a l'excentricitat és un nombre molt petit perquè gairebé tots els LEO tenen òrbites gairebé circulars i acostuma a ser de l'ordre d'alguna deumil·lèsima i fins i tot inferior.

El tercer paràmetre que necessitem ara és determinar la posició de l'eix major de l'el·lipse, que ens ve donat per l'anomenat **Argument del Perigeu** (*Arg. Perigee*) (figura 11) que és l'angle que forma l'eix major amb el pla equatorial en el node ascendent.



3r Posició del satèl·lit a l'el·lipse

Ara que ja tenim definida la posició i la mida de l'el·lipse a l'espai, només ens falta indicar la posició exacta del satèl·lit en aquesta òrbita, que ens ve donada per un paràmetre que s'anomena Anomalia Mitjana (**Mean Anomaly**), i que ajuda a determinar la posició (figura 13), suposant que el satèl·lit gira amb un moviment uniforme al voltant dels nodes de l'el·lipse, encara que això no és realment així, però d'aquest valor MA se'n dedueix la posició real (anomalia veritable) mitjançant un càlcul geomètric que no ens interessa per res.



Data i hora d'aquests paràmetres

Queda per explicar que el dia i l'hora en què figura que es van determinar aquests paràmetres keplerians (figures 9 i 10) s'expressa d'una manera molt peculiar, perquè consisteix en un nombre en el que les dues primeres xifres són les dues últimes de l'any (22) i les xifres següents expressen el número del dia de l'any i les seves fraccions decimals. Vegem-ne l'exemple: Epoch Time: 22216,8739247

Significa que han estat determinats l'any 2022 i el dia 216 i escaig decimal d'aquell any, xifres amb què us podeu entretenir a realitzar els càlculs de conversió en hores del pic decimal, i que us hauria de donar qualsevol hora entre el 7 i el 8 d'agost del 2022, data en què es va descarregar l'arxiu de dades keplerianes.

També queda per explicar l'últim paràmetre “**Decay**”, que representa la pèrdua de revolucions per dia que experimenten tots els satèl·lits LEO a causa del xoc amb les escasses molècules de l'escassa atmosfera que alguna cosa els frenen malgrat l'alçada a què evolucionen .

El sincronitzador de temps Dimension 4

És important que el rellotge del PC estigui sempre ben sincronitzat al segon, perquè heu de tenir en compte que quan el satèl·lit passa molt alt i elevat a una velocitat superior als 27.000 km per hora (la velocitat de la ISS), aquesta i els satèl·lits canvien de posició molts quilòmetres en cada segon, de manera que els rotors controlats automàticament amb prou feines aconseguen seguir-los en temps real,

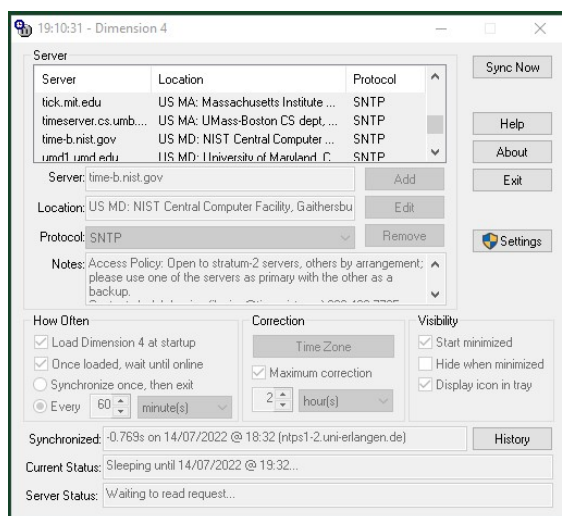


Figura 14: Programa de sincronització del rellotge Dimension 4.

Si heu treballat ja anteriorment amb l'FT8 del WSJT-X, probablement ja sabeu que ningú no es fia que la sincronització del rellotge del PC l'efectuï el mateix Windows i, per garantir-la sempre, tothom instal·la el programa Dimension 4 (figura 14), un programa que cada hora repassa automàticament la sincronització per garantir que el nostre rellotge local està ben sincronitzat al segon i que es pot descarregar per exemple de la web:

<http://www.thinkman.com/dimension4/> fent clic en “Download”. Després es configura que s'actualitzi automàticament cada hora i corregeix la desviació produïda en aquest temps.

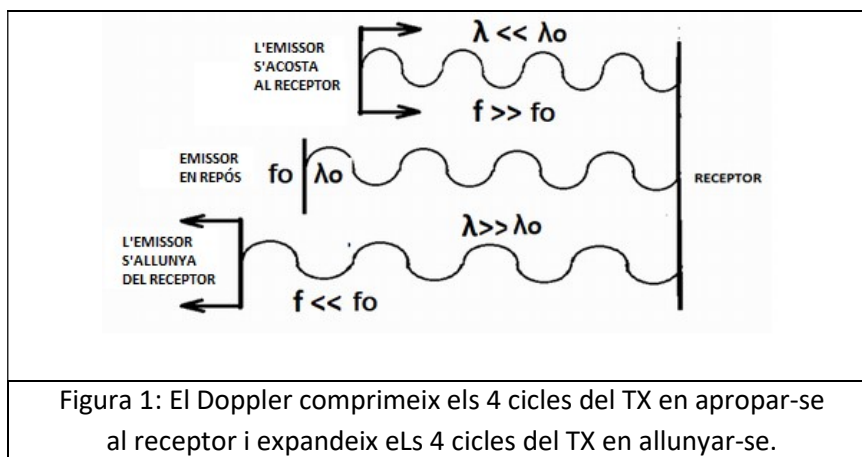
CAPÍTOL 3

L'efecte Doppler i l'operació en FM

Es descriuen els problemes de sintonitzat que produeix l'efecte Doppler en les comunicacions amb satèl·lits i com es pot superar en la modalitat de FM.

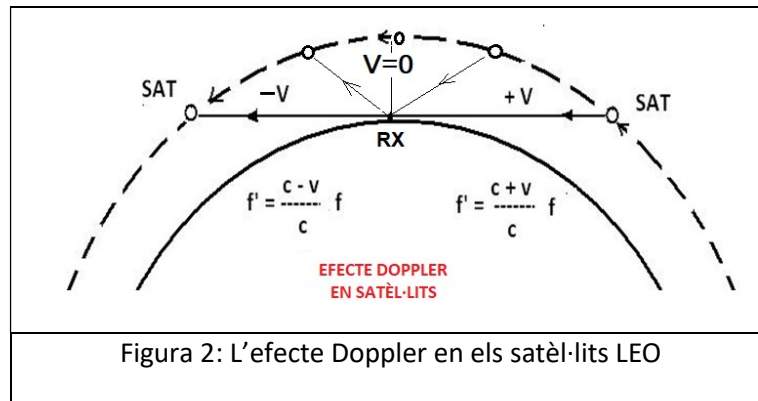
L'efecte Doppler

L'efecte Doppler és un canvi que es produeix a la longitud d'ona i, en conseqüència, a la freqüència, que s'origina pel moviment relatiu entre l'emissor d'una ona respecte del receptor. Quan un mòbil s'acosta cap a nosaltres, ja que l'ona electromagnètica es propaga sempre a una velocitat fixa exactament igual a la de la llum, el moviment relatiu d'aproximació del transmissor respecte al receptor encongeix la longitud de l'ona a l'espai (figura 1) i aquest efecte és exactament equivalent a augmentar la freqüència de transmissió per sobre de la freqüència nominal del transmissor, mentre que el moviment posterior d'allunyament expandeix la longitud de l'ona i, per tant, equival a disminuir la freqüència de transmissió quan l'emissor mòbil s'allunya de nosaltres.



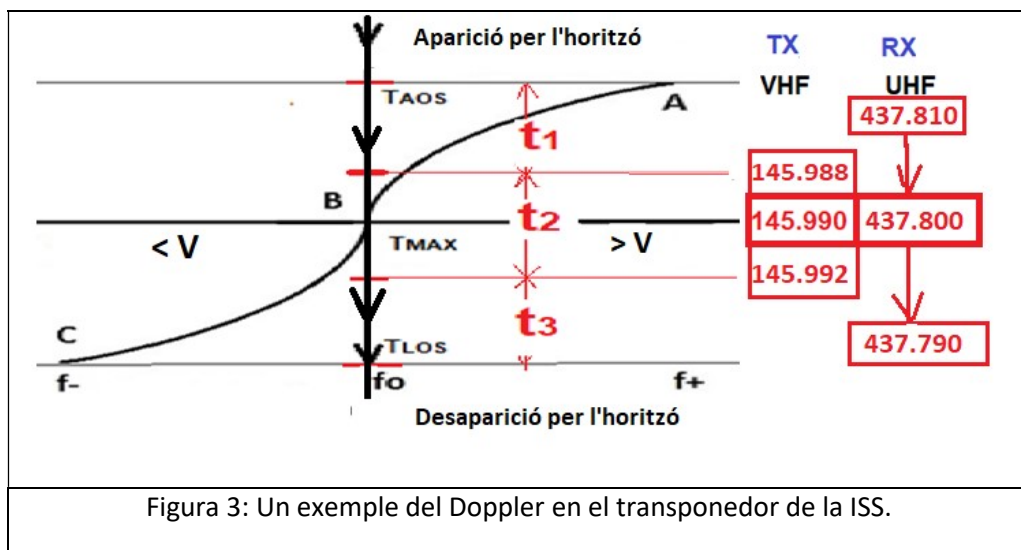
L'efecte Doppler als satèl·lits LEO

Els satèl·lit LEO, quan apareixen per l'horitzó, tenen la màxima velocitat relativa (+V) d'aproximació respecte a la nostra estació i, just quan s'eleva al cel i arriben a la màxima elevació respecte a nosaltres, es produeix un instant de velocitat relativa nul·la ($V=0$), per allunyar-se de nosaltres (-V) a la següent meitat de la passada cada vegada a més velocitat negativa, que arriba al màxim quan just desapareix per l'horitzó (figura 2).



La gràfica de l'efecte Doppler

A la figura 3 hi ha un exemple de com varia la freqüència de sortida del transponedor de l'estació Espacial (ISS) per l'efecte Doppler que es produeix quan apareix per l'horitzó i s'aproxima cap a nosaltres, ja que augmenta la freqüència de transmissió nominal de 437.800 fins a prop de 437.810 (+10 kHz), mentre que, quan passa pel màxim d'elevació, la rebem exactament a 437.800 i després la seva freqüència comença a disminuir fins a prop de 10 kHz quan desapareix per l'horitzó en 437.790. Haurem d'anar desplaçant el dial del nostre receptor d'acord amb el desplaçament de freqüència per mantenir el receptor centrat correctament.



En canvi, en 144, com l'estació espacial rep en 145.900 i també s'acosta cap a nosaltres, hauríem de planificar les nostres transmissions al principi del passi a prop de -3 kHz per sota la freqüència nominal (145.987), perquè la ISS rebrà la rebrà + 3 kHz més alta de freqüència, perquè nosaltres també ens hi estem apropant a la ISS, encara que l'efecte de captura de la FM no ho farà indispensable, perquè es demodularà perfectament igual, en ser aquesta desviació del Doppler molt menor que l'amplada de banda d'un senyal de FM.

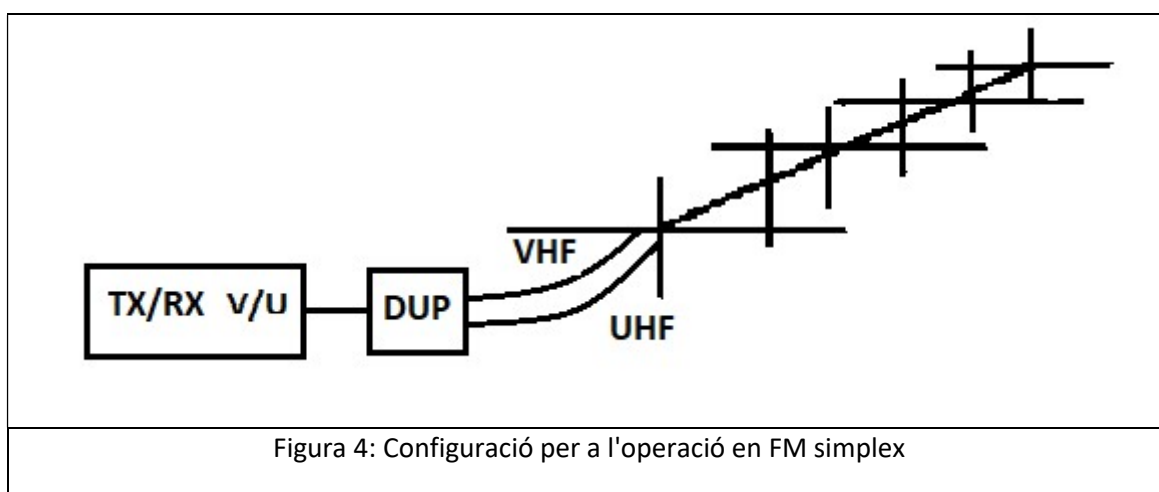
Podríem intentar entrar a la ISS quan apareix per l'horitzó disminuint la nostra transmissió un parell de kHz, per centrar la nostra transmissió més tard a 145.900 quan arribi al màxim d'elevació i, quan ja s'allunyi de nosaltres, n'hi haurà prou que l'incrementem un parell de kHz

perquè l'efecte de captura de la FM ens demodularà sense problemes a l'entrada del repetidor.

El QSO amb un sol equip de FM?

L'operació en FM és possible amb un sol equip? Si l'equip és bibanda, la resposta és afirmativa, encara que és una mica difícil, com veurem a continuació, però ara de moment passarem llesta a la instal·lació mínima requerida.

La forma més simple de fer un contacte és apuntar al satèl·lit amb una antena de mà (figura 4) després d'haver planificat bé la trajectòria prevista durant el passi. Per descomptat que necessitarem una antena bibanda per a les dues bandes, de la qual la configuració més simple és la doble Yagi amb els elements de cada banda perpendiculars entre si, ja que és la manera com la interacció entre les dues antenes és mínima.



Un sol equip bibanda amb una sola sortida d'antena necessitarà barrejar els dos senyals en un duplexor (un diplexor pròpiament dit) que separi la transmissió de cada banda i l'envii cap a l'antena corresponent, mentre que alhora encarrila també la recepció procedent de la banda oposada a l'únic connector d'antena del nostre equip bibanda. Els duplexors acostumen a proporcionar una separació entre les dues bandes d'uns -60 dB, cosa que normalment és suficient. Per exemple, l'antena Arrow de mà transportable amb una funda es ven amb un duplexor opcional integrable a l'empunyadura, encara que només aguanta potències de fins a 10 W com a màxim. Si la potència que fem servir és superior, necessitarem un duplexor extern que suporti més potència.

S'hauria de dir realment diplexor perquè el prefix "di" indica divergència i separació, mentre que el prefix "du" indica duplicació, que no és el cas d'aquest dispositiu, ja que separa els dos senyals i li convindria més el prefix "di".

L'efecte captura del més fort de la FM

L'operació en simplex en FM té l'inconvenient que no podem comprovar que el nostre senyal surti repetit pel satèl·lit a l'altra banda, per culpa de l'efecte captura del senyal més fort en FM. Aquest efecte fa que el senyal més fort s'imposi en la demodulació al satèl·lit. Així que és molt

possible que les nostres trucades de CQ (o de resposta) quedin tapades i ocultes per una altra estació que arribi una mica més forta fins al satèl·lit que nosaltres. I com que estem transmetent no ens assabentarem que ha passat això. I és una cosa molt frustrant, perquè no tenim ni idea de si el satèl·lit ens repeteix o no.

Però si som els primers a entrar al satèl·lit, tenim alguna probabilitat d'èxit i podríem aconseguir algun contacte, just quan treu el cap per l'horitzó, a les passades ascendents de Sud a Nord, perquè encara no han pogut entrar les estacions de més al nord d'Europa. A les passades descendents no val la pena ni intentar-ho, perquè les estacions europees entren els primer al satèl·lit i ocupen el transponedor i només podríem tenir algun èxit en els últims dos minuts de la passada en què ja estarà fora del seu abast.

Per què és necessària l'operació en *full-duplex*?

L'operativa en semi-duplex o simplex és poc factible en FM i amb moltes dificultats, en CW. En SSB és molt poc pràctica i gens operativa. Per a l'operació en banda creuada en satèl·lits V/U i U/V, necessites comprovar exactament on apareix la teva transmissió a la sortida del satèl·lit, per poder contestar un CQ a la mateixa freqüència de l'estació que crida, o bé, si el que crida CQ ets tu, necessites saber on et contestaran. I això encara que durant la transmissió el programa de seguiment et corregeixi la desviació de freqüència per Doppler mitjançant el control per CAT. Però si operes en simplex, no tens cap garantia que surtis a la freqüència correcta.

Si operes en simplex, probablement ningú t'escoltarà en contestar un CQ fora de freqüència, a no ser que siguis un tauró i et descobreixin per casualitat, gràcies al teu excés de potència i antenes, ja que és molt possible que surtis repetit molt lluny de la freqüència de l'estació que truca. Potser els que operen amb un SDR vegin una transmissió propera i et sintonitzin si no hi ha res més que escoltar a la banda de pas del satèl·lit, però en resintonitzar el seu receptor, el més probable és que canviï també la seva freqüència de transmissió i, si et contesten, tu ja no els escoltaràs a la freqüència inicial.

En els satèl·lits amb repetidor de FM, és molt possible que, si operes en simplex, entris bé al satèl·lit i et contestin, però és molt probable que, atesa la congestió i competència actual en FM, s'imposi la llei del més fort i et planxin. En FM, el satèl·lit "només" retransmet el senyal del més fort, per la qual cosa és molt probable que et trepitgin tots els pesos pesants que utilitzen bones antenes directives. El més probable és que et cansis cridant i no t'assabentis que ningú t'escolta, perquè tots t'aixafen.

Full-duplex gairebé imprescindible

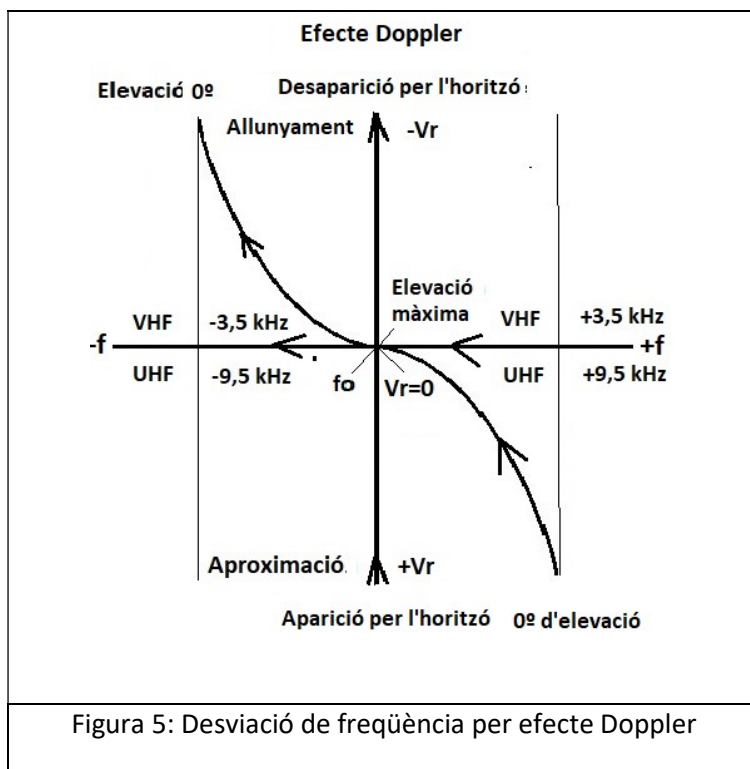
Amb un equip capaç de *full-duplex*, és molt possible que algú t'escolti si tu mateix et sents la teva retransmissió ben centrat a la sortida (downlink) del satèl·lit, així que és molt important que la teva estació permeti **rebre i transmetre alhora**. D'aquesta manera, podràs sentir-te a la sortida del satèl·lit mentre emets, i comprovar que la teva pròpia transmissió apareix a la sortida del satèl·lit a la freqüència exacta, cosa que garanteix que totes les altres estacions t'escoltaran també. I si no et sentissis exactament on hauries de sortir, podràs utilitzar els

retocs previstos al programa de seguiment per corregir la teva desviació i centrar-te perfectament.

En CW, com que hi ha molt poques estacions que operin en aquesta modalitat, és possible que puguis fer un CQ en semi-duplex i descobreixis amb alguna dificultat que en una altra freqüència del transponedor hi ha una estació que et contesta. Però sento dir-te que hi ha molt poques estacions operant en CW als satèl·lits de radioaficionat, per la dificultat que suposa l'autoescolta en aquesta modalitat com explicarem més endavant.

La correcció del Doppler és necessària en FM?

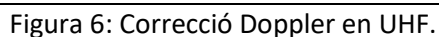
Parlem de l'efecte Doppler (figura 5), aquesta desviació que es produeix a les freqüències d'un satèl·lit a causa de la velocitat relativa respecte a l'antena de l'observador. A 144 Mhz, la velocitat del satèl·lit arriba a desviar la freqüència uns $\pm 3,5$ kHz a cada costat de la freqüència nominal (d'entrada o sortida), amb un canvi total des de l'ort (aparició) del satèl·lit fins a l'ocàs (desaparició) d'uns 7 kHz, així que no és un problema especialment greu i no val la pena molestar-se en corregir-ho, com veiem a la figura 3. Però a la banda de 435 MHz, la desviació per l'efecte Doppler arriba a gairebé $\pm 9,5$ kHz durant un passi, cosa que representa un canvi de freqüència d'uns 19 kHz en total.



Nota: Aquestes xifres de desviació màxima pel Doppler són merament aproximades, perquè aquests valors depenen de la velocitat de cada satèl·lit i aquesta velocitat depèn de l'altitud de la seva òrbita, així com també de l'elevació màxima del passi en concret, així que només ens serveixen de referència aproximada per a la majoria dels satèl·lits LEO.

Tot i això, a UHF, amb els $\pm 9,5$ kHz dels 435 Mhz, ens sortirem del marge de captura del demodulador del receptor de FM, si no canviem la freqüència de transmissió o la de recepció en algun moment del passi. Així que necessitarem ja sigui reajustar la freqüència de recepció del satèl·lit que opera en mode V/U, o bé la del transmissor quan opera en mode U/V, almenys un parell de vegades durant el passi.

A UHF, el més aconsellable és anotar-se prèviament tres freqüències (figura 6), una a +6 kHz per sobre de la freqüència nominal per al primer terç del passi (1); la segona hauria de ser la freqüència exacta nominal en què rep el satèl·lit (2) i la tercera hauria de ser una freqüència -6 kHz més baixa (3) que la nominal per al tercer terç, quan ja s'allunya el satèl·lit de nosaltres. Per descomptat, cal no oblidar-se de canviar la freqüència al llarg de la passada a cada terç, per la qual cosa hem d'anotar, juntament amb les tres freqüències, els minuts de la passada que hem d'utilitzar cadascuna i fer el canvi, havent dividit prèviament la durada del passi en tres parts iguals 1, 2 i 3.



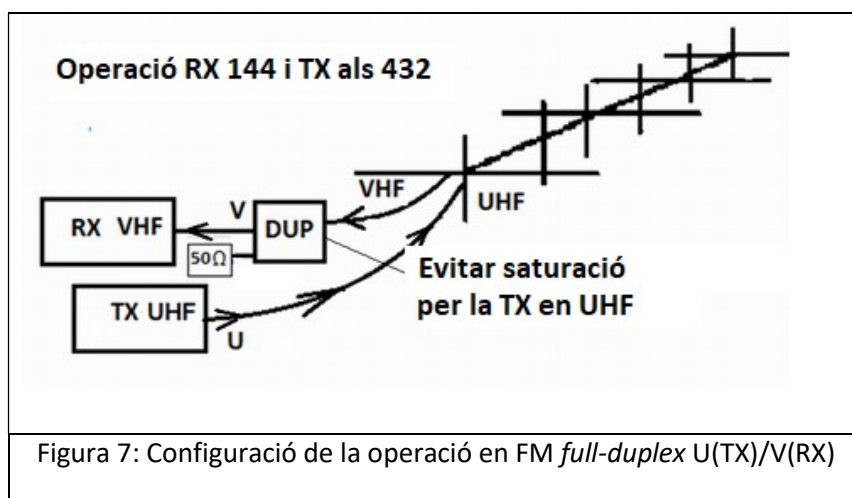
Aquest sistema serveix tant per a l'operació en V/U com per a l'operació en U/V, així que segons sigui el satèl·lit, cal aplicar aquest canvi de freqüència en UHF a la transmissió o la recepció.

De tota manera, actualment, a causa del problema del tercer harmònic de la transmissió de 144 que pot saturar la pròpia recepció a UHF del satèl·lit, es llancen més Cubesats que tenen la recepció a VHF i transmeten a UHF perquè el tercer harmònic de $435 \times 3 = 1205$ Mhz no els molestarà a la recepció, de manera que moltes vegades tindrem el problema d'haver d'atenuar el tercer harmònic de 144.

Operació en *Full-duplex* amb 2 equips: U(TX)/V(RX)

Per assegurar l'èxit, hem de comprovar que el satèl·lit ens repeteix i operar o bé amb un equip *full-duplex* bibanda (Kenwood TS-2000 o ICOM 910, 9100 o 9700), o més fàcilment, amb dos equips separats de VHF i UHF, un amb el que realitzem la transmissió a UHF i un segon equip (per exemple un SDR) que mantindrem en recepció permanent a VHF, la qual cosa ens permetrà comprovar que som nosaltres els que estem sortint al transponedor del satèl·lit perquè ens estem escoltem a nosaltres mateixos a la sortida.

De tota manera, hem de resoldre el problema que la nostra transmissió a UHF pot arribar a saturar (per proximitat de les dues antenes) la recepció a VHF, especialment si el receptor de VHF simultani és un simple SDR amb escàs filtratge a l'entrada. La solució més simple (figura 7) consisteix a col·locar un duplexor amb una resistència de càrrega que derivi qualsevol senyal d'UHF que pugui arribar de la nostra pròpia transmissió a la banda contrària i que podria saturar la recepció del receptor SDR si no té filtres d'entrada.

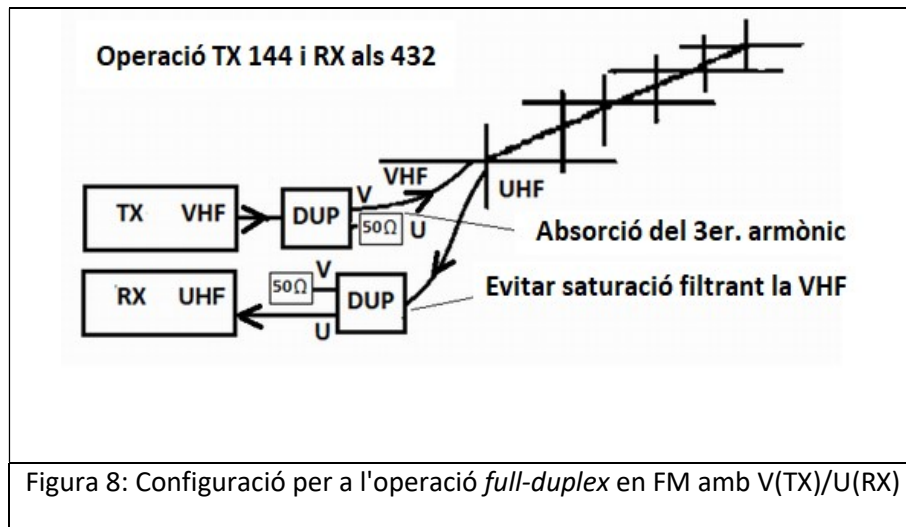


Qualsevol filtre de VHF intercalat faria molt millor aquesta funció, però aquests filtres tenen el defecte de ser molt més cars, mentre que els duplexors de 144/432 són uns filtres molt més barats que es poden aconseguir per menys de 50 euros i amb un aïllament que s'acosta als -60 dB.

Full-Duplex al revés amb 2 equips: V(TX)/U(RX)

A primera vista, semblaria que n'hi hauria prou amb intercanviar les connexions de les dues antenes amb els equips respectius, per transmetre a VHF i rebre a UHF, però ara apareix un nou problema: la transmissió en FM a VHF genera un tercer harmònic que entra de ple a la banda de satèl·lits d'UHF i molt probablement no n'hi haurà prou amb els filtres passabaixos

que porta el propi equip de 144 per atenuar-los suficientment i evitar que ens saturi i bloquegi la recepció a UHF (figura 8).



Per això és important que col·loquem un segon filtre atenuador dels harmònics generats (x3) i res més barat que recórrer novament a un altre duplexor amb una resistència de càrrega a la sortida U per eliminar-los i evitar que arribin a l'antena i es colin i saturin la recepció a UHF. El primer duplexor anterior el col·locarem ara a la baixada de recepció, perquè freni l'emissió fonamental de VHF i no ens pertorbi la recepció a UHF amb un SDR poc filtrat

CAPÍTOL 4: OPERACIÓ EN CW I EN SSB

S'exposa el problema dels QSO en CW i com s'ha de corregir imprescindiblement l'efecte Doppler per a la operació en SSB.

Per què hi ha tan poques estacions en CW?

Com que és gairebé imprescindible operar en *full-duplex* i sentir-se un mateix per saber on surt repetida la nostra pròpia transmissió a la sortida del satèl·lit, es fa difícil manipular correctament, si alhora sentir la teva pròpia manipulació repetida pel satèl·lit. Normalment s'opera amb un manipulador electrònic de pales, guiat per l'àudio generat localment a la teva estació, però ara sentim també el nostre senyal repetit al satèl·lit amb retard, especialment si utilitzes un receptor SDR.

En CW sentiràs dos àudios diferents: el teu propi àudio monitoritzat localment, a més d'un altre àudio que arriba a deshora amb una mica de retard. Aquesta duplicitat exigeix moltíssima habilitat i concentració de l'operador per manipular correctament, llevat que emetis només missatges prèviament gravats en una memòria. Aquest problema fa que l'operació en CW als satèl·lits sigui molt estressant. Gairebé tothom prefereix utilitzar la banda lateral, perquè és més fàcil realitzar un QSO sentint la teva pròpia veu repetida una mica retardada respecte a la teva pròpia veu, perquè amb prou feines distreu la teva atenció, encara que torni amb una mica de retard, com un ressò distant.

Els LEOs amb transponedor lineal

Els satèl·lits que disposen d'un transponedor lineal proporcionen una banda passant de 20 a 60 kHz d'amplada de banda, cosa que permet un bon nombre de QSOs simultanis durant el limitat temps del passi d'un satèl·lit. Gràcies a això, disposem de moltes més possibilitats d'aconseguir algun QSO, moltíssimes més que amb els satèl·lits que equiben transponedor amb un canal únic en FM, on sempre impera la llei del més fort. En canvi, en SSB i en CW se senten molt ben repetits els senyals febles, així que realment val la pena fer un esforç i equipar la nostra estació per operar en *full-duplex* en SSB (i FT4) per fer contactes en aquestes modalitats.

En SSB és imprescindible el *full-duplex*

En SSB és imprescindible sentir la teva pròpia transmissió, perquè les estacions et respondran a la mateixa freqüència exacta de la sortida del transponedor. Abans de posar-se a cridar CQ, cal estar segur que ens estem escoltant a nosaltres mateixos exactament ben centrats a la freqüència de sortida de la nostra pròpia transmissió, repetida pel transponedor. Això no és gens fàcil d'aconseguir amb un equip analògic clàssic, ja que ens hem de buscar i trobar nosaltres mateixos a cegues a la banda passant, mentre que és molt fàcil aconseguir-ho amb un SDR, perquè disposem de la capacitat de visualitzar on apareix repetida exactament la nostra transmissió.

Per què és tan fàcil el *full-duplex* amb un SDR?

A la revista Radioaficionats del mes de Març de 2019, s'ha publicat la traducció d'un article de Ronald G. Parsons, W5RKN, aparegut originalment al QST (*Avantatges dels SDR per operar full-*

duplex en satèl·lits) on s'explica també que les comunicacions per satèl·lit a cegues amb un equip clàssic convencional són un malson, encara que el transceptor disposi de *full-duplex*.

L'operador d'aquests equips clàssics es passa mig passi del satèl·lit enviant “dits” en CW amb el manipulador, o xiulant per tota la banda passant, fins a descobrir per on diables surt la seva transmissió al transponedor del satèl·lit. Insisteix una vegada i una altra fins que aconsegueix localitzar-se i procedir llavors a calibrar la seva recepció amb la seva transmissió, amargant en aquest procés amb els seus xiulets a tots els operadors que ja estan en un QSO.

En canvi, l'operador que utilitza en recepció un equip SDR, pot localitzar la seva posició a la banda de pas del transponedor en uns segons perquè, amb un parell o tres de xiulets, veu immediatament per on surt la seva transmissió a l'espectre del receptor SDR en la banda de sortida del satèl·lit i pot corregir immediatament ja sigui la seva freqüència de transmissió a la banda d'entrada, o bé la freqüència del seu receptor fins a escoltar correctament la seva pròpia veu. N'hi haurà prou que emeti uns quants “hola”, com a molt dues o tres vegades, durant uns quants segons, i fins i tot menys, per poder centrar-se bé amb les comandes correctores del programa de seguiment (SatPC32) i quedarà llest per realitzar qualsevol QSO a la resta de la passada del satèl·lit (10-15 minuts).

A partir d'aquest calibratge previ, ja pot començar a cridar CQ o contestar altres estacions, perquè ja s'encarrega el programa de seguiment de la correcció Doppler i de la compensació entre la transmissió i la recepció, ja sigui el SatPC32, el MacDoppler, l'HRD, l'SDR-Ràdio, etcètera,

Estan condemnats els operadors amb equips clàssics a no poder operar còmodament als satèl·lits? Hi ha solució? Què es pot fer sobre això?

Afegir un receptor SDR a un equip analògic

La solució més senzilla i més barata, en lloc de comprar-te un caríssim nou transceptor SDR (per exemple un ICOM 9700), molt adequat per operar en satèl·lits, consisteix a afegir un receptor SDR a la teva estació i transmetre amb el teu equip clàssic de sempre, usant el receptor SDR per a la recepció i poder veure tot l'espectre de la sortida del satèl·lit i descobrir immediatament on surt repetida la teva transmissió.

SDR connectat a la FI del transceptor

Per al “manetes”, la solució més simple i còmoda consisteix a instal·lar a l'equip clàssic una interfície per obtenir una sortida per enviar a un receptor SDR, per exemple a la sortida del primer convertidor de l'equip, és a dir, a la primera FI del transceptor, ja que la seva panoràmica ja ens permetrà veure un bon marge de freqüències al voltant de la que presumptament ens repetirà el satèl·lit. Hi ha a la venda alguns kits ja dissenyats per realitzar aquesta connexió per a alguns equips clàssics, entre la qual destaca la Interfície IFace de l'empresa italiana TSP (<https://www.tspeletronica.com>), pàgina on trobaràs instruccions per instal·lar-la per exemple en un TS-2000 i en un ICOM 910 i 9100.

També per afegir un SDR és una bona compra el kit del Panoramic Adaptor Tap Board de HupRD que trobareu a la web: <http://huprf.com/huprf/pat-board> i que disposa, per exemple,

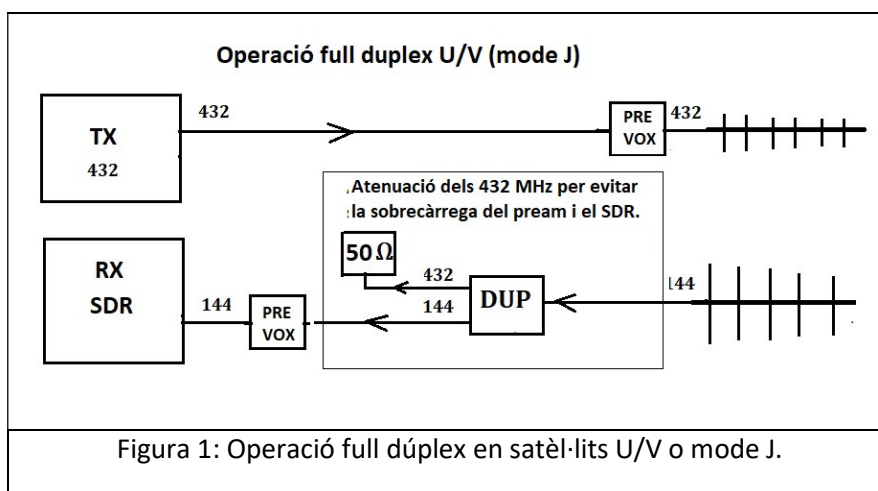
de dues versions per al TS -2000, una per a la primera FI de 73 MHz (PAT85M) i una altra per a la segona FI de 10.695 kHz (PAT12M), segons prefereixi el comprador. Crec que els ven amb els SMD ja muntats, però a més disposa de models per a cada equip Yaesu, Kenwood, Elecraft i ICOM.

I si sóc un negat i no goso modificar l'equip?

Aquí intentaré presentar algunes opcions per a qui no s'atreveix o no vol operar el seu equip, perquè encara que sembli fàcil rebre amb el teu SDR al mateix temps, sorgeixen alguns problemes que hem de resoldre prèviament per arribar a un final feliç, i aquí us presento la primera de les solucions més econòmiques, començant per la disposició de l'estació per a l'operació *full-duplex* a un satèl·lit U/v (figura 1).

Operació U/V

Un satèl·lit U/V o mode J és el que la transmissió es realitza als 70 cm (435-438) i es rep a VHF (146), situació que és la més simple i fàcil d'implementar, ja que et permet operar full-duplex en FM en satèl·lits, com ara l'AO-85, i en SSB en altres satèl·lits com el Funcube-1 (AO-73) o els xinesos XW2A-2C-2D-2F, etcètera. Però apareixen uns problemes addicionals que hem de resoldre prèviament.



I si es produeix la sobrecàrrega de l'SDR?

Alguns SDR barats, com els basats en el RTL-2832 i similars, no disposen de filtres passa banda d'entrada, per la qual cosa és possible que se sobrecarreguin i es bloquegi la recepció a 144, quan transmetem simultàniament per 432 per una altra antena paral·lela o viceversa. Aquest problema hauria de ser resolt mitjançant un bon filtre de recepció passa banda que deixés passar només els senyals de 144 que volem rebre.

Si disposeu d'un SDR més sofisticat (i car), com ara el Funcube PRO+ o el SRSP1 de SDRPlay o altres amb filtres passa banda, el més probable és que no necessiteu cap filtrat addicional, perquè seran suficients els filtres passa banda interns. Però si experimentes problemes de sobrecàrrega en el teu SDR quan operes en banda creuada (el que notaràs immediatament

perquè es redueix el nivell del soroll en transmetre per una altra banda), pots fer el següent: col·locar un filtre que deixi passar només els 144 MHz a recepció davant del SDR.

Però si utilitzes un preamplificador d'antena, a causa de la major longitud de les baixades coaxials, és molt probable que tinguis problemes de sobrecàrrega, tot i utilitzar un receptor SDR més car. Si aquest és el vostre cas, necessitareu un filtre.

El filtre més barat: un duplexor

Els filtres passa banda de VHF i UHF resulten una mica cars, prop dels 200 euros, però hi ha una solució molt més econòmica i que consisteix a utilitzar un duplexor, dels quals es venen per utilitzar dues antenes de V i U amb una mateixa baixada o una antena bibanda amb un equip amb entrades separades per a VHF i UHF.

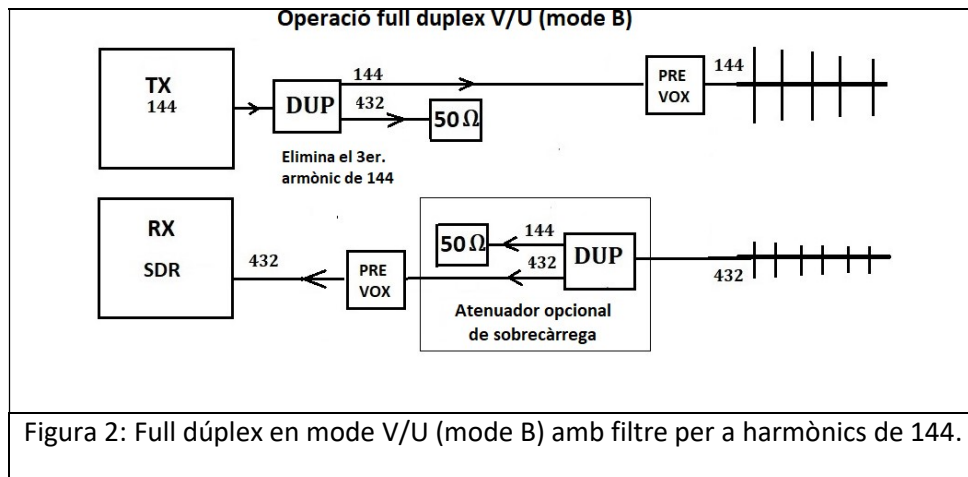
Diuen que un bon duplexor V/U proporciona una separació mínima de fins a -50 dB i, per descomptat, la majoria suporta també potències de transmissió fins als 200 W. Per assegurar-nos que qualsevol senyal de 432 no viatja amunt i avall per una total desadaptació d'impedàncies, el millor que podem fer és col·locar una resistència terminal de 50 ohms que absorbeixi el senyal de 435 captat de l'antena veïna. Per uns 50 euros hem resolt el problema de la sobrecàrrega a l'altra banda (requadre opcional de la figura 1).

L'operació V/U es complica pels harmònics

La configuració per a l'operació *full-duplex* en satèl·lits equipats amb un transponedor oposat, és a dir del tipus V/U o mode B (TX a V i que es rep a UHF (146) és una mica més complicada que la U/V de la figura 1, com s'observa ara a la figura 2.

Malauradament, un transmissor de 144 MHz té el mal costum de generar harmònics- Segons la normativa, teòricament el tercer harmònic hauria d'estar -60 dB per sota de la portadora de 145 MHz. Encara que el que quedi sigui una potència mínima, de vegades aquesta xifra no sempre es compleix exactament, malgrat les afirmacions del fabricant. I per si no n'hi hagués prou, precisament el tercer harmònic cau precisament dins de la banda creuada en què volem rebre els satèl·lits amb l'SDR ($3 \times 146 = 438$ Mhz).

A més, encara que sigui d'un nivell molt baix, aquest tercer harmònic de 435 MHz és ideal perquè el capti l'antena veïna d'UHF, alhora que el senyal que volem rebre. Però encara pot ser pitjor: moltes vegades fins i tot disposem d'un preamplificador a 435 MHz que amplifica tot allò que entra i, per tant, és molt possible que se'ns saturi la recepció de l'SDR a UHF, quan transmetem a VHF. Males perspectives. Hem d'atenuar aquest tercer harmònic com sigui, especialment si fem servir preamplificadors (figura 2).



Un altre duplexor acudeix a la nostra ajuda

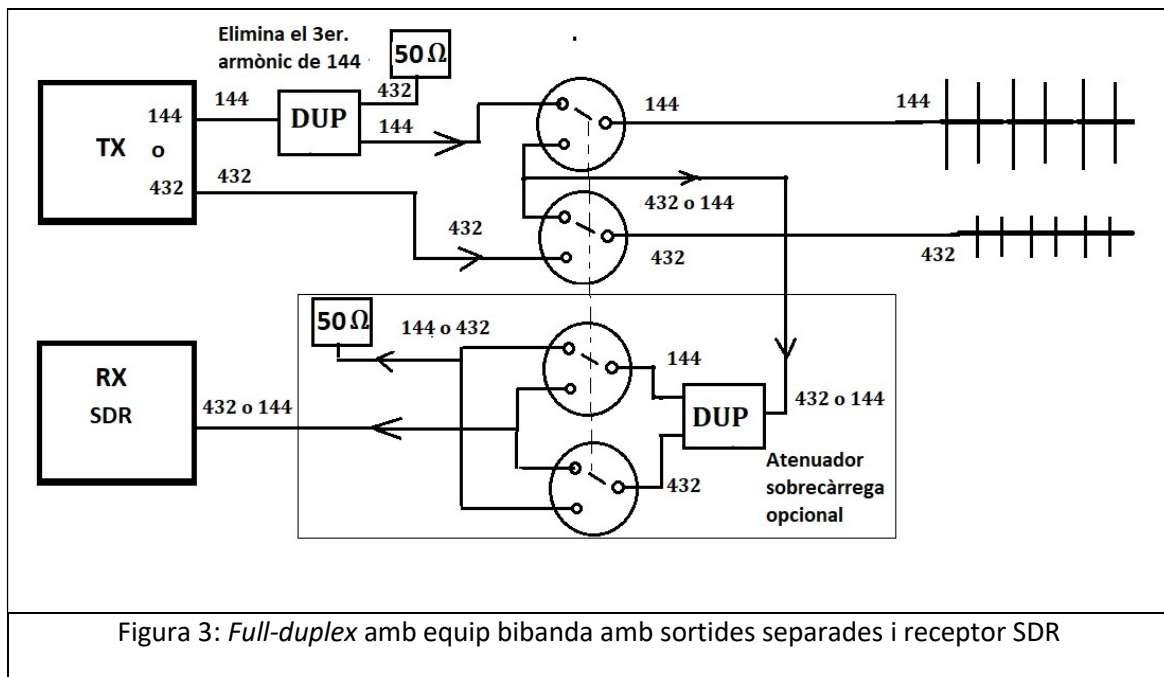
Un duplexor és el filtre passa baixos més barat que podem trobar per una mica menys de 50 euros, i no tenim més que col·locar un altre duplexor a la sortida del transmissor de 144 MHz, de manera que el tercer harmònic ($144 \times 3 = 432$) es desvii i el derivi cap a una resistència de càrrega de 50 ohms, que l'absorbeixi, sense que necessiti gairebé dissipar potència, perquè el duplexor atenua l'altra banda en uns -60 dB (divideix potència rebuda per 1000).

Si és cert que el tercer harmònic (432) està almenys a -50 dB per sota de la potència de la portadora de 144 Mhz, només hauria de haver de suportar com a molt de 0,1 a 1 mW, especialment si resistim la temptació d'augmentar la potència fins a 100 W, potència que són capaços de donar molts transceptors de 144, com ara el TS-2000.

També aquí, dit sigui de pas, podem col·locar opcionalment a la recepció un altre duplexor per disminuir la sobrecàrrega de l'SDR, si aquest receptor SDR és un dels barats i no disposa de filtres propis passa banda (Figura 2) i si comprovem que se satura i disminueix el seu guany quan transmetem a 144.

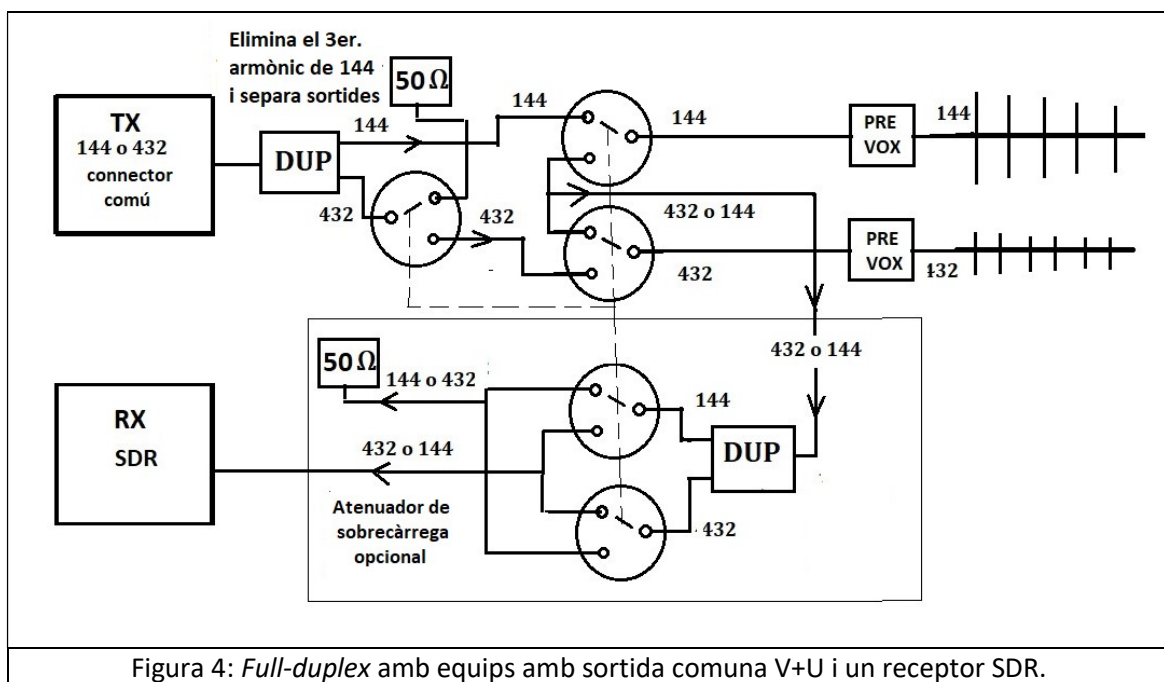
Equips multibanda

Hem esmentat anteriorment el transceptor Kenwood TS-2000, un equip clàssic que pot operar a les dues bandes en *full-duplex* i que, a més, disposa de sortides independents d'antena per a cadascuna de les dues bandes, com també ho són els transceptors IC-910 i IC-9100. Per afegir-hi la recepció amb un SDR (sense haver d'afegir una sortida addicional per al receptor SDR a la FI), podem complicar-nos la vida i muntar un sistema de relés coaxials (figura 3) que commuti els nostres duplexors i les antenes, de manera que ens permeti seleccionar ràpidament una de les dues modalitats (V/U o U/V), pel simple sistema d'activar els relés amb un interruptor que accioni els quatre relés alhora i commuti entre les dues configuracions.



Equips amb sortida d'antena V i U comú

També hi ha equips com els Yaesu FT-857 i el FT-897 que tenen una única sortida comuna d'antena per a VHF i UHF. Això complica molt la commutació perquè ara hem de fer servir un relé coaxial addicional per desviar (o no) l'harmoní de 145 cap a la resistència de càrrega (Figura 4).



Si us fixeu bé en les figures 3 i 4, malauradament sempre hi ha un perill enorme que actuï Murphy i acabem transmetent en una banda que no té connectada l'antena corresponent i danyem el transmissor, tant el de 144 com el de 432. Si col·loquéssim un interruptor que accioni els relés coaxials a la posició equivocada, podríem arribar a transmetre per error alguna vegada sense l'antena adequada i posar en perill el pas final.

No us equivocareu mai? Murphy sempre està a l'aguait i tot el que pugui sortir malament, tard o d'hora un dia o altre sortirà malament. I només cal una sola equivocació perquè saltin els transistors finals d'un equip, sinó que estan ben protegits o bé dimensionats per suportar la transmissió sense antena.

Quina defensa tenim contra Murphy?

Afortunadament, MFJ ja ha sortit a la nostra ajuda i ha dissenyat un commutador especial per rebre simultàniament amb un receptor SDR i amb el nostre equip clàssic: el switch MFJ-1708B (Figura 5).

El commutador MFJ-1708B permet connectar un receptor SDR a la mateixa antena que un transceptor, mitjançant un sensor de RF que commuta ràpidament i desconnecta el SDR quan detecta la presència de la transmissió de RF cap a l'antena. D'aquesta manera, podem treballar alhora amb un equip clàssic i un receptor SDR, que ens permet visualitzar totes les estacions que es troben a la sortida del satèl·lit i sintonitzar-les a voluntat amb el transceptor, sense haver de preocupar-nos de Murphy i la seva mala llet.



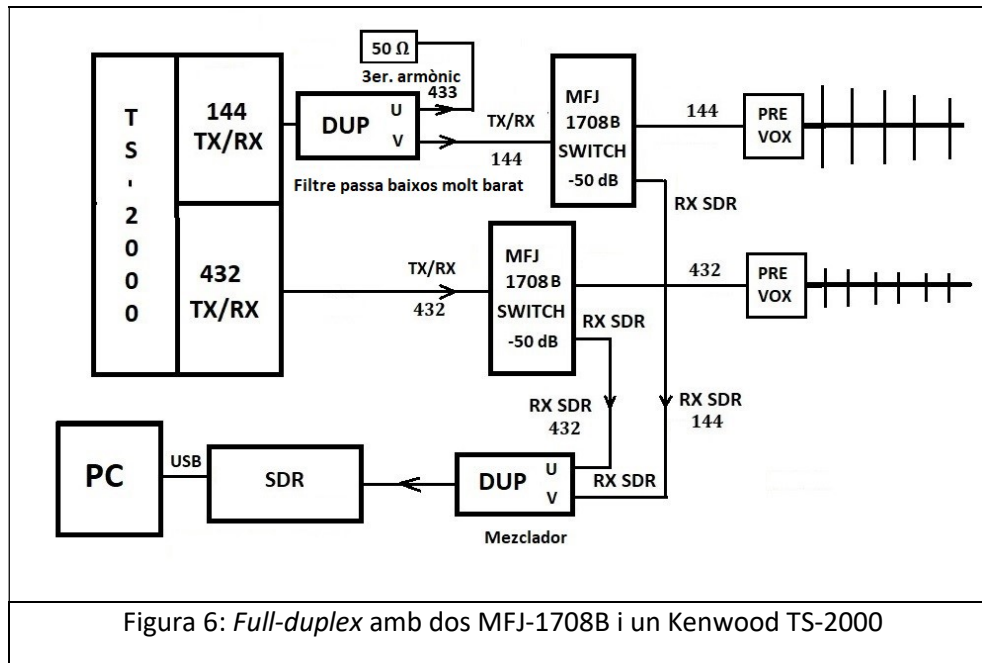
Figura 5 Commutador MFJ-1708B per un SDR auxiliar.

Receptor SDR amb dos MFJ-1708B i un TS-2000

El commutador MFJ-1708B ha estat especialment dissenyat per realitzar dues funcions importants i en necessitem dos per poder operar a voluntat alternant les dues modalitats de satèl·lits: V/U i U/V (Figura 6), sense haver de preocupar-nos de commutar cap relé ni de Murphy.

La primera funció consisteix a proporcionar un circuit “*splitter*” que permet la recepció independent i simultània de l'equip clàssic i del SDR, que proporciona dos senyals independents i idèntics a cada receptor, mitjançant un circuit separador equilibrat (*splitter*) i que proporciona una excel·lent adaptació a l'antena i la recepció simultània a l'SDR i al TS-2000.

La segona funció és detectar automàticament la transmissió de RF i desconnectar la recepció de l'SDR i posar a massa la sortida cap a aquest receptor addicional perquè no arribi el senyal de la transmissió al receptor SDR, ja que podria sobrecarregar-lo i bloquejar-ne la recepció. No obstant això, tindrem una recepció perfecta a l'SDR a l'altra banda, ja que l'altre switch, que no té RF, ens està proporcionant una còpia del senyal rebut per l'altra antena a la banda creuada.



Necessites un SDR més car

D'altra banda, l'aïllament que ens proporciona en transmissió el MFJ-1708B és de tan sols -55 dB en 145 Mhz i de -48 dB en 435 Mhz, xifres que són una mica justetes per al marge dinàmic dels receptors SDR. Això representa que, encara que el duplexor actuï com a mesclador de recepció per al SDR i filtri també els senyals a cada banda, val més que no intentem implementar aquesta instal·lació mitjançant un SDR barat del tipus RTL-2832, sense cap filtre d'entrada de cap classe i amb baixes prestacions d'intermodulació, perquè segur que se sobrecarregarà amb els senyals de 435, quan intentem rebre'n 145 i viceversa.

Si t'has gastat els diners en un parell de MFJ-1708B, és imprescindible que no siguis garrepa i et compris un SDR més car i que porti filtres passa banda i un nombre més gran de bits al convertidor analògic/digital (12-14 bits), bits que garanteixin marges d'intermodulació i bloqueig millors que els d'un RTL-2832 (8 bits), com ara el Funcube Pro+ (16 bits) o el SDRUno de SDRPlay que ja té 14 bits.

Tinc només un RTL-2832

No desesperis, encara hi ha esperances per a tu, però has de substituir el Duplexor que has utilitzat com a mesclador per un commutador que millori l'aïllament de la teva transmissió, per tal que arribi més atenuada al receptor SDR, afegint uns -60 dBs d'atenuació per al senyal transmès a l'altra banda, tal com es mostra a la figura 7. Per canviar de modalitat no tindràs més remei que accionar un commutador, però com que està col·locat a l'SDR i connectat a la

sortida de recepció, no hi ha por que Murphy es faci present. Et pots equivocar, però sense conseqüències. Ho advertiràs immediatament.

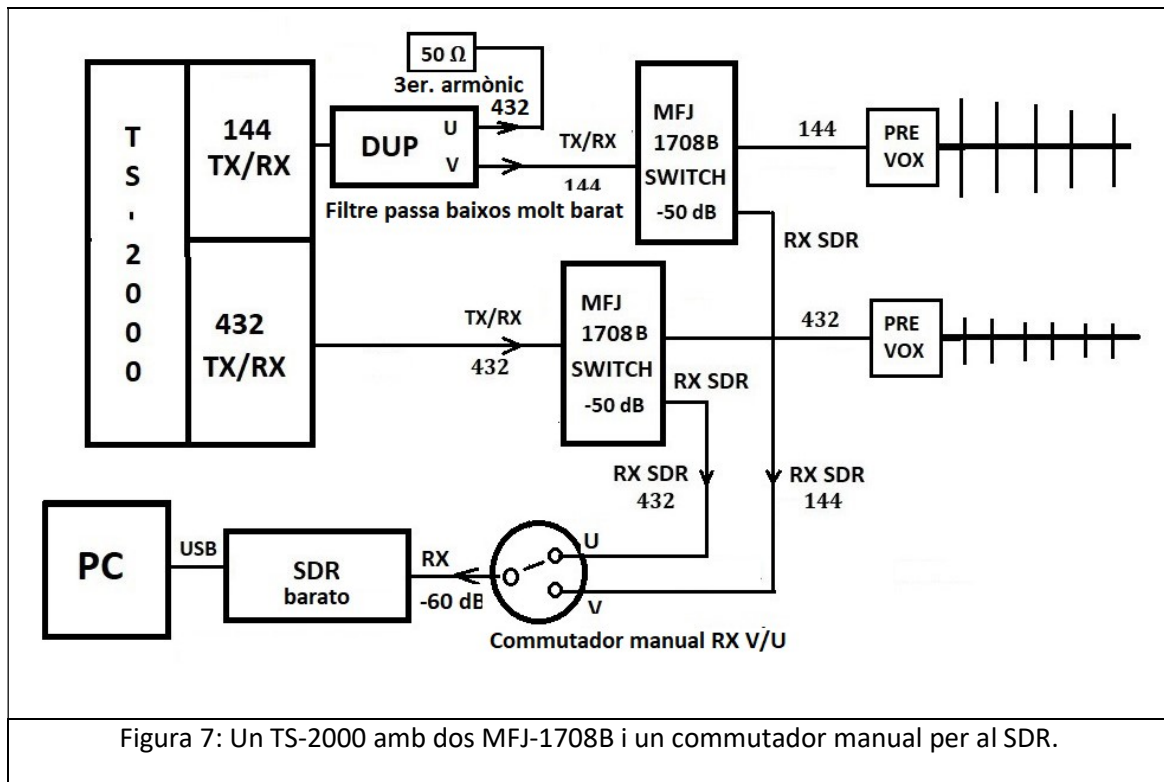
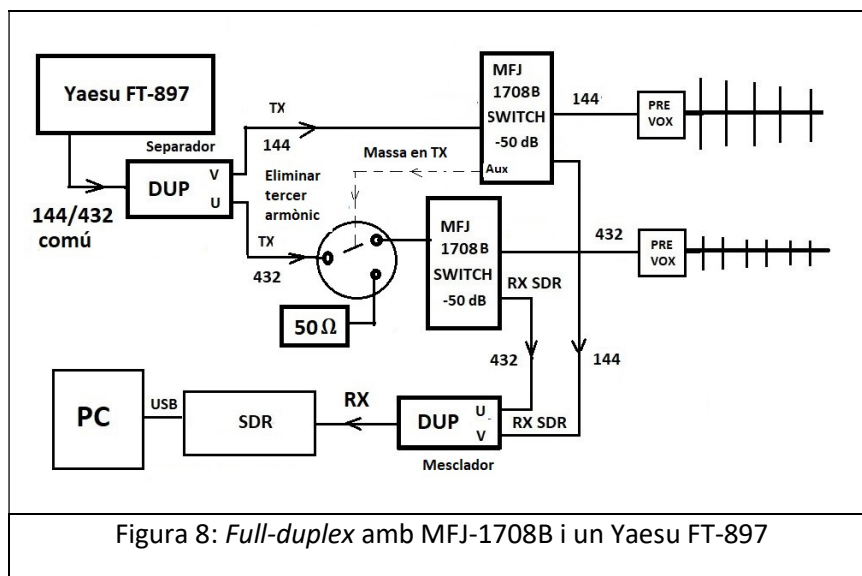


Figura 7: Un TS-2000 amb dos MFJ-1708B i un commutador manual per al SDR.

Full-duplex amb un Yaesu FT-857 i FT-897

Aquests dos equips tenen una sola sortida d'antena tant per a V com per a U. En principi podries pensar que molt millor, ja que en tindries prou amb un sol commutador MFJ-1708B, col·locat a la sortida comuna per a V i U, però aquesta solució no és operativa a la pràctica, ja que en accionar la transmissió en qualsevol de les dues bandes, es desconnectaria la recepció del SDR a l'altra banda i et quedaries sense recepció, per la qual cosa es perdria el full-dúplex, que és precisament l'objectiu principal de tota aquesta configuració tan complicada, que és l'única que se m'ha acudit, després de donar-hi moltes voltes i que apareix a la figura 8, encara que estaria encantat que algun lector em descobrís una solució més senzilla, perquè jo no l'he sabut veure.



En els equips amb una sortida comuna, el primer duplexor ja separa d'entrada les transmissions de cada banda, per poder dirigir-les cap a l'antena corresponent, encara que ara se'ns colaria sense remei el tercer harmònic cap al receptor SDR a través del switch d'UHF, i fins i tot podria disparar-ho i bloquejar la recepció.

Aquest problema el podem resoldre, utilitzant la sortida auxiliar AUX de posada a massa existent al switch MFJ-1708B de VHF, per accionar el relé coaxial que ens envii automàticament el tercer harmònic de 146 a una càrrega de 50 ohms només quan transmetem en 145, de manera que atenuï aquest harmònic quan es detecti una transmissió de VHF, mentre que no actuï quan la transmissió sigui de UHF. D'aquesta manera, també ens assegurem al mateix temps que el tercer harmònic, malgrat el seu petit nivell, no pugui activar el commutador de recepció dels 435 a l'SDR.

No ens hem de preocupar per mantenir la recepció activa a l'equip clàssic que utilitzem, ja que els Yaesu FT-897 no són equips *full-duplex* i sempre s'anul·la i emmudeix la pròpia recepció quan transmetem a l'altra banda. Aquí el *full-duplex* només el podem fer amb l'SDR.

Si utilitzem un SDR barat

També aquí si utilitzem un SDR barat, és molt possible que hàgim d'augmentar l'atenuació a la recepció de la banda no desitjada mitjançant un commutador manual en lloc del mesclador Duplexor, tal com es mostra a la figura 9. Això li afegiria uns -60 dB d'atenuació al senyal que ens arribi de la banda de transmissió.

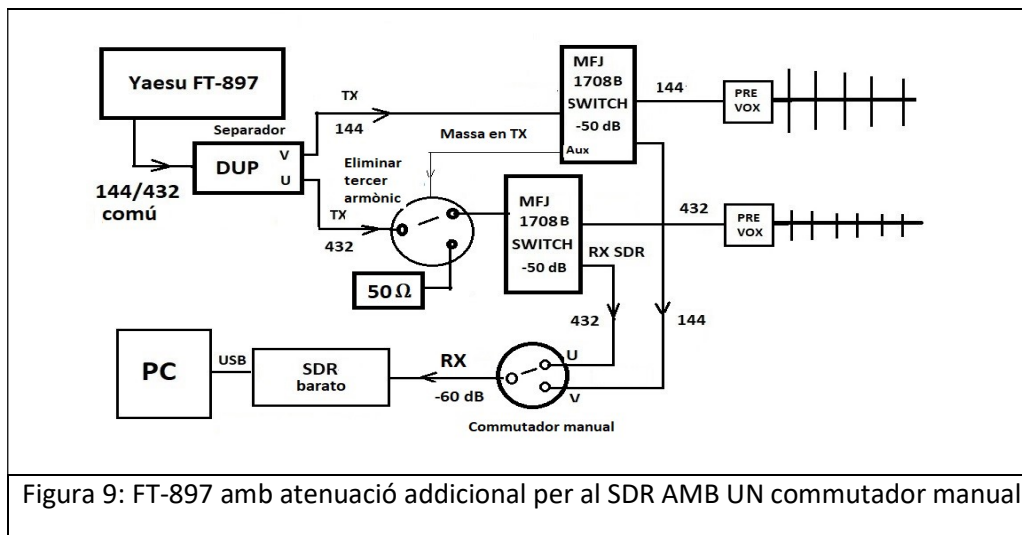


Figura 9: FT-897 amb atenuació addicional per al SDR AMB UN commutador manual

Curiosament el FT-817ND, que és un equip QRP i que permet operar també en satèl·lits amb els seus 5-10 W a VHF i UHF, disposa de dues sortides d'antena (una posterior i una altra frontal), sortides que permeten ser programades independentment, una per a cada banda, i realitzar una configuració més senzilla com la del TS-2000 de les figura 6 i 7, encara que no pugui continuar rebent alhora que l'SDR, ja que no és *full-duplex*, però això no crec que ens importi massa, si ja tenim el SDR per rebre.

CAPÍTOL 5: OPERATIVA AMB EL SatPC32

Es descriu el funcionament d'aquest programa més a fons i la seva aplicació perfecta per corregir l'efecte Doppler amb dos equips separats.

Correcció constant del Doppler

L'operació a SSB i CW en satèl·lits exigeix l'operació en *full-duplex* de manera que puguem rebre estacions en SSB i escoltar-nos també a nosaltres mateixos simultàniament, mantenint sempre la mateixa freqüència. Per tant, la nostra freqüència de transmissió i la de recepció han de ser constantment corregides per compensar el corriment de freqüència a causa de l'efector Doppler, degut a la velocitat de moviment del satèl·lit relativa a l'antena receptora, tal com s'explica a la figura 1. En aquesta figura es mostra la compressió que experimenta la longitud d'ona (el que equival a augmentar la freqüència) a la primera meitat de la passada, quan el satèl·lit se'ns aproxima elevant-se des de l'horitzó, i en la segona meitat del passi es converteix després en una expansió de la longitud d'ona, que equival a disminuir la freqüència de transmissió quan s'allunya i desapareix per l'horitzó.

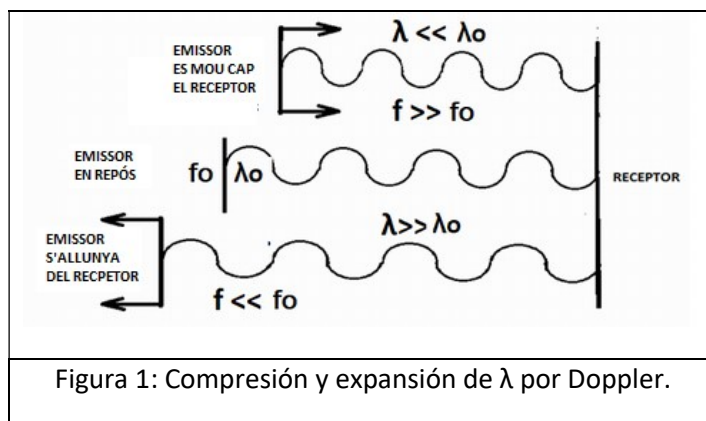


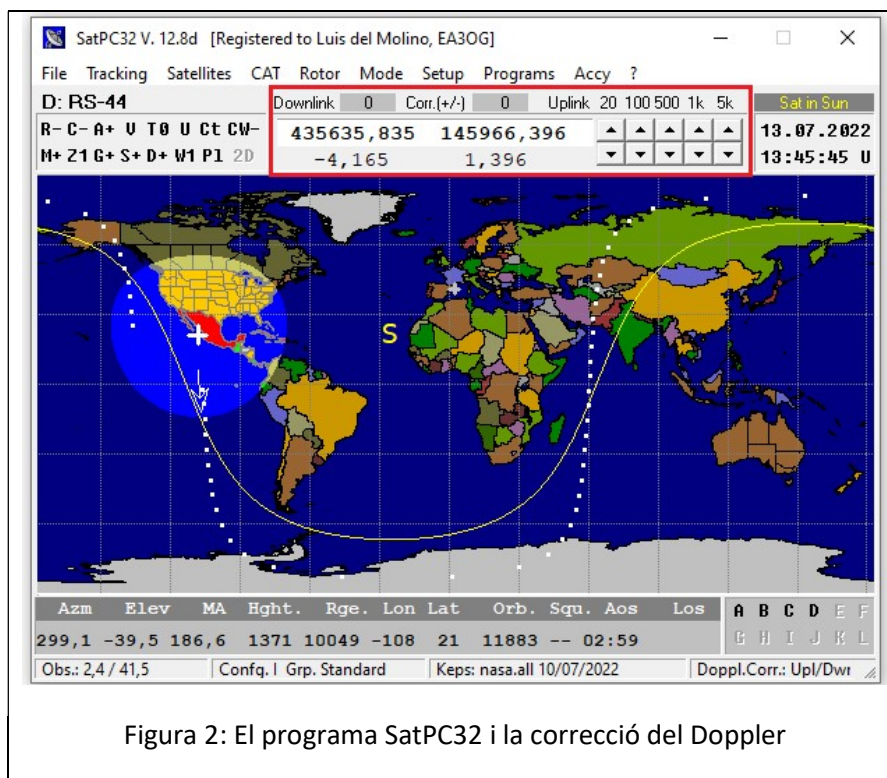
Figura 1: Compresión y expansión de λ por Doppler.

Només coincideix exactament amb la freqüència prevista quan el satèl·lit es troba al punt de màxima elevació sobre el nostre horitzó, ja que només en aquell moment la velocitat relativa respecte a la nostra antena és nul·la.

El programa SatPC32

En un capítol anterior, ja s'explicava perquè aquest era el programa que tothom considera com el més aconseguit per al seguiment de satèl·lits i la correcció del Doppler (figura 2), així com és possible obtenir-lo sense necessitat de contribuir a AMSAT, descarregant-lo de la web del seu autor DK1TB (<http://www.dk1tb.de/downloadeng.htm>).

Que jo sàpiga, aquest és l'únic programa que permet el control del Doppler de dos equips diferents, cosa que ens permetria operar fàcilment en *full-duplex* amb el nostre equip actual, afegint simplement un receptor SDR a la nostra estació, controlat mitjançant el programa SDR-Console de Simon Brown, utilitzant el nostre equip habitual de VHF o UHF només per transmetre.



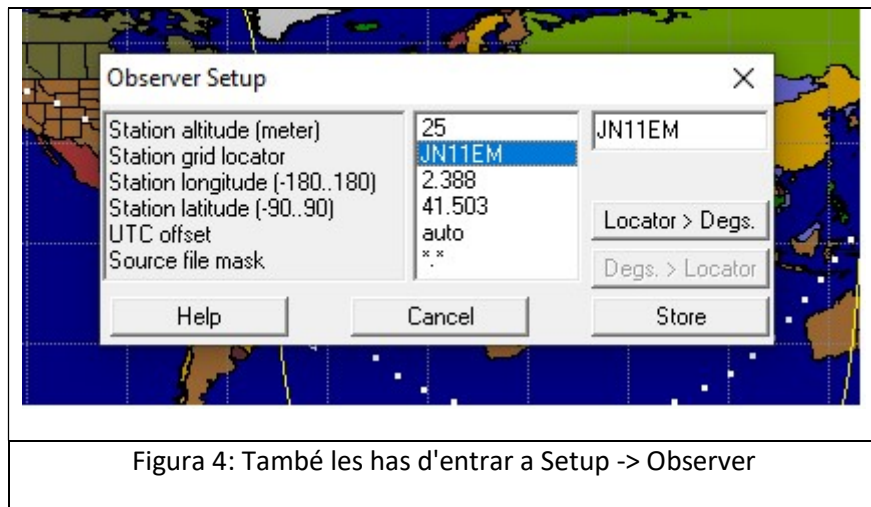
Pagar o no pagar?

L'únic problema que se't presenta si no et registres com a usuari d'aquest programa (si no pagues a AMSAT) és que, cada cop que ho arrenquis (figura 3), et veuràs obligat a entrar la Longitud i la Latitud del teu QTH amb decimals, una petita molèstia que t'estalviaràs en el futur si decideixes pagar una modesta quantitat, de manera que rebràs d'AMSAT en un parell de dies una clau que, un cop introduïda al programa, t'evitarà el problema d'haver d'introduir aquests valors a les caselles respectives cada vegada que l'arrenquis (figura 3).

Figura 3: Sense clau, heu d'entrar les coordenades cada vegada.

En realitat aquesta entrada de dades obligatòria és només per fastiguejar a l'usuari que no contribueix, perquè realment les dades del QTH de la nostra estació cal entrar obligatòriament

també en la configuració que apareix a la primera línia del “Setup” (figura 4, Setup opció Observer).

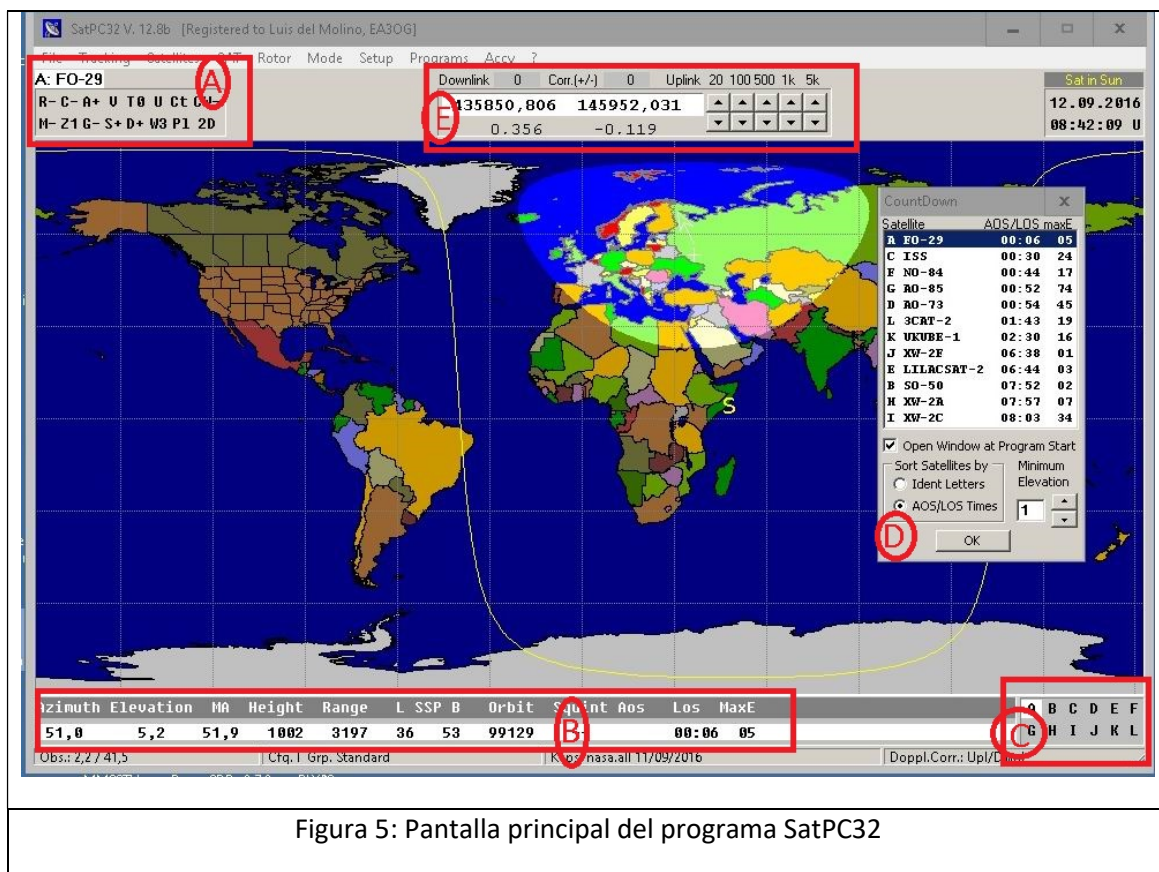


La primera vegada que iniciïs el programa podràs entrar la longitud i latitud que et doni la gana perquè posteriorment, obrint les pestanyes **Setup -> Observer** podràs utilitzar el calculador interior **Locator > Degr.** de la figura 4 on pots entrar el teu locator per esbrinar les teves coordenades geogràfiques aproximades decimals (el centre de la quadrícula proporciona prou precisió) per després d'annotar-les, tancar el programa i tornar-lo a obrir escrivint aquestes dades a la finestra d'inici de la figura 3. Resolt el problema. No us oblideu de col·locar també l'altitud de la vostra antena sobre el nivell mitjà del mar, que podreu conèixer mitjançant el programa Google Earth, perquè és important per obtenir els graus d'elevació correctes.

SatPC32: “El programa” més efectiu contra el Doppler

Hi ha molts programes de seguiment de satèl·lits que corregeixen el Doppler (per exemple Ham Radio de Luxe, Nova for Windows, Orbitron, etc...), però no en conec cap que hagi assolit la perfecció del SatPC32. De tota manera, que jo ho ignori, no vol dir que no n'hi hagi algun altre també excel·lent i del qual no m'hagi assabentat. Per exemple, mai he vist funcionar el MacDoppler (per a MAC) i potser és tan bo com el SatPC32. Però que jo sàpiga, tots els operadors el senyal amb un senyal estable i al lloc correcte utilitzen sempre SatPC32. Els altres programes que conec, em sap greu dir-ho, no donen la talla i, encara que no patinen, no són tan flexibles ni estan tan ben pensats com el SatPC32, pels petits detalls que explicarem a continuació, ja que és l'objectiu d'aquest capítol.

Ara vegem el menú principal del programa a la Figura 5, i suposo que estareu d'acord amb mi que no és cap meravella de claredat i els seus botons de comandament són microscòpics i força incòmodes de manejar amb el punter del ratolí. Petits defectes, atesa la gran funcionalitat del programa.



Us puc assegurar que els operadors que utilitzen SatPC32 ben configurat, sempre surten a la freqüència exacta en què pretenen respondre a una estació que crida CQ o se senten a ells mateixos exactament a la freqüència en què pretenen fer una drida general CQ. I aquí mostrarem els recursos i trucs d'aquest programa per assolir aquesta perfecció a la correcció del Doppler.

Pantalla Principal del SatPC32

Zona A: A la zona A tenim tots els botons d'ordres de la visualització i els d'operació reunits en uns botons polsadors miniatura (més aviat microscòpics), però que permeten seleccionar i canviar sobre la marxa totes les opcions de visualització i que s'arrenquen activades o no, segons definim a les opcions d'inici del programa, però que podem canviar sobre la marxa quan vulguem.

Zona B: A la zona B disposem de tota la informació pertinent sobre el satèl·lit escollit per al seu seguiment i aparició al mapa. Tenim l'Azimut, l'Elevació, l'Anomalia Mitjana, l'Altitud actual, la Distància en km, les coordenades suborbitals de Latitud i Longitud per on passa, el Número de l'òrbita i l'Hora prevista d'inici del passi i la Màxima Elevació. Normalment és una pantalla "monosatèl·lit" ja que no segueix mai diversos satèl·lits alhora aquest programa.

Zona C: Selecció del satèl·lit. Tenim disponibles a mà els 12 satèl·lits que hem seleccionat prèviament en altres pantalles que no vénen al cas detallar aquí en aquest moment, ja que no pretenem que sigui un manual del SatPC32, sinó només analitzar com corregeix el Doppler i els enginyosos recursos de què disposa per compensar-lo totalment.

Zona D: És el menú de compte enrere o “Countdown” on sempre tenim visibles els 12 satèl·lits escollits i els minuts que falten per a la seva aparició per l'horitzó, juntament amb la indicació de la màxima elevació, una informació essencial, per valorar el passi i tenir sempre a la vista quan és el proper satèl·lit que passarà per sobre de l'horitzó i si val la pena molestar-se a seguir-lo, ja que veurem aquí si arriba amb un angle d'elevació suficient. També disposa d'un altre programa independent (WinAOS) per obtenir les previsions dels futurs passis.

Zona E: Aquest és el menú Doppler on es mostren les freqüències de transmissió i recepció i on s'indica la correcció necessària de l'efecte Doppler en temps real i que, a més, permet canviar la freqüència per tota la banda passant del satèl·lit mitjançant el clic amb el ratolí en botons de desplaçament, si no voleu utilitzar el comandament de sintonia de l'equip de ràdio. La freqüència correcta en cada moment de transmissió i recepció s'envia al transceptor (o al transmissor i receptor si són separats) per mitjà d'ordres CAT, enviades per mitjà de ports COM físics o virtuals.

L'arxiu Doppler.SQF

L'arxiu clau que maneja les freqüències dels satèl·lits és el arxiu <Doppler.SQF> que s'instal·la per defecte amb el programa en una carpeta una mica amagada (com tots els fitxers de dades dels programes al Windows 10) concretament a la carpeta o directori: **C:\usuari\”nom de l'usuari”\AppData\Roaming\SatPC32.**

On diu “Nom de l'Usuari” cal col·locar el nom de l'usuari de Windows amb què s'ha instal·lat el programa. Com el fitxer de freqüències per a tots els satèl·lits (<Doppler.SQF>) és en realitat un fitxer de text on es pot afegir i canviar freqüències, obrint-lo i editant-lo amb un programa com el NotePad (Bloc de notes) o el WordPad, ja que són els que millor tracten els fitxers de text i tornen sempre el mateix format exacte en què s'ha obert sense alterar ni afegir res.

Al requadre titulat com a figura 6 teniu un exemple mostrant un fragment d'un fitxer <Doppler.SQF>.

```
; For Hints look at the end of this file.  
; Do not remove or modify these first  
; 3 lines of the file, starting with '!'  
AO-85,145980,435172,USB,USB,Nor,0,0,CCTS67,7 Hz  
AO-10,145900.0,435100.0,USB,LSB,REV,0,0  
AO-73,145935,145935,USB,USB,,,,TLM  
AO-73,145960,435140,USB,LSB,REV,0,0,Voice U/V
```

Figura 6: Un exemple del arxiu Doppler.SQF

Per a cada satèl·lit, hi ha d'haver com a mínim una línia (o més) que comenci **amb el mateix nom exacte** amb el que apareix als llistats de paràmetres keplerians, la freqüència de recepció, la d'emissió, la modalitat de recepció i d'emissió, la indicació NOR o REV que indica si el canvi de freqüència del transponedor del satèl·lit es produeix per suma (de VHF a UHF) o per resta (d'UHF a VHF) i els dos paràmetres finals són per manejar els desplaçaments de freqüències que realitza un transverter (la freqüència del vidre del convertidor), si és que cal indicar-los

(els SDR no ho necessiten i es mantenen a 0). Després també es pot afegir algun comentari, com per exemple si necessiteu emetre subtons CTSS i el seu valor, perquè ens ho recordi en escollir la freqüència d'operació i configurar el transmissor degudament.

La sincronització del receptor per CAT

A la pantalla Ràdio Setup de la figura 7 es mostra la configuren els ports COM que manegen els dos equips. En el meu cas utilitzo dos equips SDR diferents, però tots dos obeeixen les mateixes ordres que un Kenwood TS-2000 i els connecto mitjançant els ports COM virtuals 6 i 11.

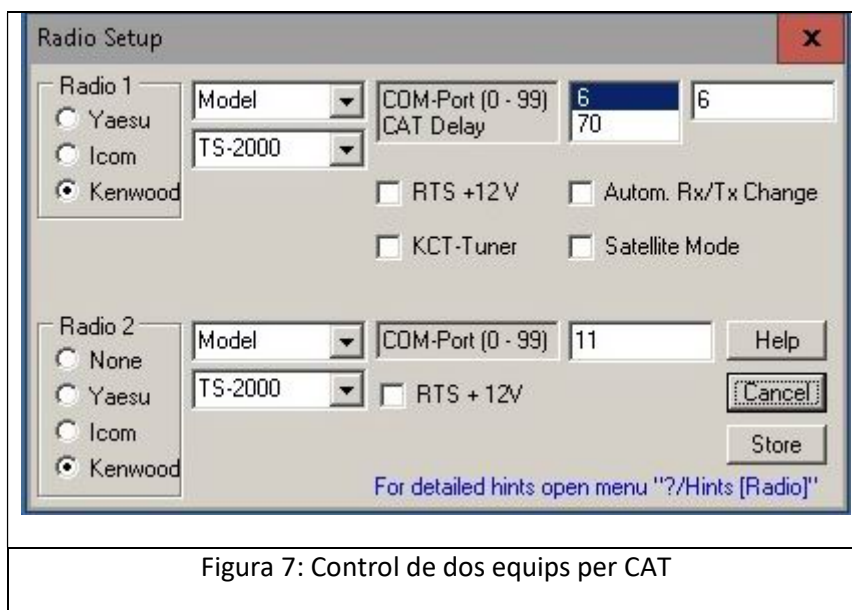


Figura 7: Control de dos equips per CAT

La correcció “relativa” del Doppler del SatPC32

Una de les principals virtuts del SatPC32 és que corregeix el Doppler d'una manera “relativa”. Què vull dir amb això? Que el programa escolta els canvis de freqüència de l'equip que li enviem amb el comandament de sintonia pel cable CAT (virtual o real) i, en conseqüència, calcula i aplica les correccions del Doppler a la nova freqüència que li hem indicat en moure el dial. I aplicarà aquestes correccions tant a la nova freqüència de pujada com a nova freqüència d'entrada, de manera que, encara que hàgim mogut la sintonia, continuarem escoltant-nos exactament a la mateixa freqüència a la que hem sintonitzat el receptor i ens sentirem a nosaltres mateixos immediatament, si el satèl·lit ens ho permet.

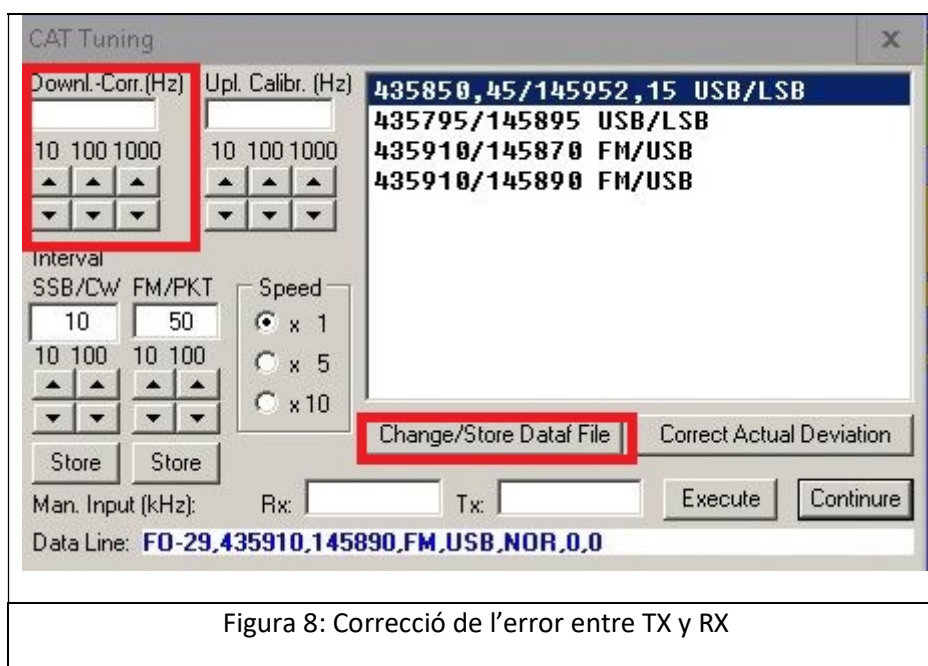
També podeu observar a la figura 4, a la dreta de la zona E, on apareix un requadre que permet variar amb el ratolí la freqüència de recepció, clicant sobre salts de +/-20 Hz, +/- 100 Hz, +/- 500 Hz, +/- 1kHz, +/- 5kHz, si no volem moure el dial de l'equip i estem manejant la sintonia amb el ratolí només (una mica més probable en el cas d'equips SDR).

Aquestes correccions relatives les realitza en SSB i en CW, però no les realitza en FM, la qual cosa de vegades és un incordi ja que no ens deixa centrar bé al nostre gust la freqüència de baixada del satèl·lit que rebem en FM. Després veurem com es compensa això. Jo tinc per costum indicar-li que l'operació sempre és en SSB (encara que sigui en FM) i després modifico

la modalitat en cadascun dels equips i canvio la manera manualment *en FM*. D'aquesta manera, el programa em permet canviar la freqüència i centrar-la millor a la banda passant de recepció de la FM.

La correcció TX/RX del SatPC32

I arriba l'hora de la veritat: el truc que explica per què el SatPC32 supera tots els altres programes per compensar els errors i desviacions que s'hagin produït en la conversió del transponedor del satèl·lit i que es manifesten com una diferència entre les freqüències de transmissió i recepció previstes, de manera que nosaltres podrem corregir-la per aconseguir escoltar-nos mateixos a la freqüència exacta que hem escollit, mitjançant la pantalla CAT de la figura 8, on es poden corregir dues situacions diferents:



a) Si no ens escoltem en SSB a nosaltres mateixos amb el to correcte, hem de corregir la desviació just al requadre de la Figura 8 de la part superior esquerra: **<Down –Corr. (Hz)>** clicant amb el ratolí als botons +/- 10/100/1000, fins aconseguir escoltar-nos perfectament sintonitzats a la sortida del satèl·lit. A partir d'aquest moment, ens podrem moure en recepció i transmissió per tota la banda passant del transponedor del satèl·lit, amb la seguretat que ens escoltarem a la freqüència de recepció escollida, ja que el programa canviarà sempre la transmissió i calcularà l'efecte Doppler, d'acord amb la nostra freqüència de recepció escollida.

b) Si ja estem en un QSO o escoltem un CQ i volem respondre en aquesta freqüència i descobrim llavors que no sortim centrats exactament, per no moure la freqüència de recepció, aleshores desplaçarem la nostra freqüència de transmissió, clicant sobre el requadre de la dreta titulat **<Upl. Calibr. (Hz)>** de la figura 8, fins a escoltar-nos exactament centrats en la freqüència exacta de l'estació que anomenava CQ i completar el QSO.

Quan haguem realitzat aquestes correccions per a aquest satèl·lit, podem passar a memoritzar-les al fitxer <Doppler.SQF> clicant sobre el requadre <Change/Store Data File>. Les

guardarà ara en aquest fitxer, en lloc de les preexistents, com a referència per a futures operacions en aquest satèl·lit per sempre. Això és tot. No us sembla fàcil?

SATPC32 “és el programa” antipatinatge

Això no pretén ser un manual del funcionament del programa SatPC32, sinó que pretén només informar tots els operadors de satèl·lit que no hi ha excusa per caminar patinant pels satèl·lits, doncs amb aquest programa, que tothom utilitza per sortir als satèl·lits en una freqüència fixa, deixarà de patinar per les freqüències de baixada del satèl·lit, esport per al qual no han estat dissenyats els transponedors dels satèl·lits, i deixarà de molestar els altres operadors que si ho han descobert i l'utilitzen ja.

Passos immediats: Countdown

Quan iniciem el programa, entre moltes altres opcions, podem escollir que s'activi i romangui visible a la pantalla (marcar “**Attach to Main Window**”) un requadre auxiliar anomenat “**Countdown**” (compte enrere), el qual mostra quant de temps falta per al següent passi de cadascun dels satèl·lits preseleccionats amb la solapa “**Satellites**” de la pantalla principal, on ens permet escollir fins a 12 satèl·lits, als quals el programa adjudica lletres de la “A” a la “L”) (figura 9).

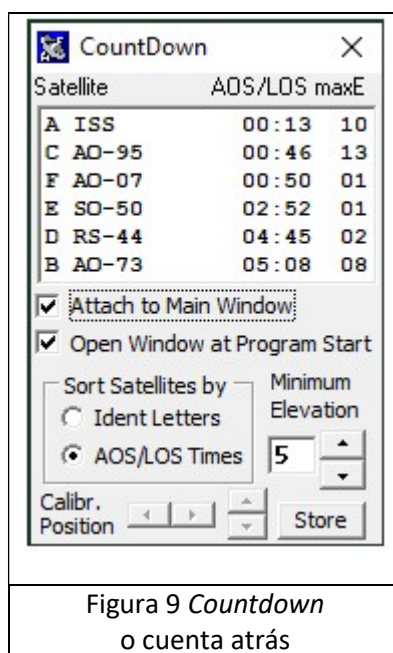


Figura 9 *Countdown*
o cuenta atrás

Aquest requadre auxiliar s'activa des de la solapa “Accy” de la pantalla principal i conté la informació més important del passi proper de cada satèl·lit preseleccionat; és a dir, mostra l'angle d'elevació màxim que assolirà el passi del satèl·lit sobre el nostre horitzó, cosa que ens permetrà valorar si aquest passi té interès o no per a nosaltres i aquest requadre podrem mantenir-lo visible permanentment al costat de la pantalla principal, marcant la casella “**Attach to the Main Window**” (Enganxa-ho a la pantalla principal). I s'obrirà automàticament amb el programa SatPC32 si marquem també la casella “**Open Window at Program Start**”.

Les passades futures: WinAOS

En cas que ja hem actualitzat els paràmetres keplerians, descarregant l'arxiu amb les dades més recents, el següent que haurem de fer és determinar prèviament totes les òrbites els passis de les quals ens convenen millor. Aquesta informació s'obté iniciant un altre “subprograma”, més o menys independent, que se'ns ha instal·lat també alhora d'instal·lar el SatPC32 i que podem iniciar desplegant les opcions de la solapa “Programs” (figura 10a) i seleccionant “WinAOS” .

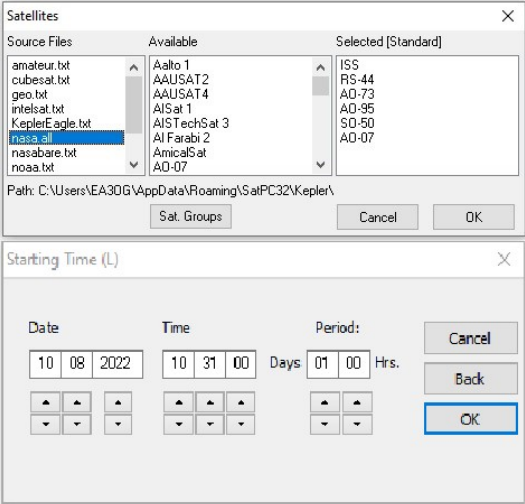


Figura 10a: WinAOS examina els mateixos SAT

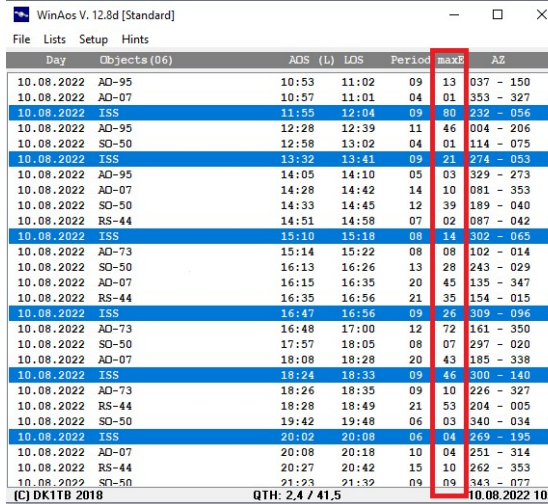


Figura 10b: Futures òrbites i la seva MaxE

El resultat apareix a la figura 10b i la columna que més ens interessa és la del quadra en vermell i que indica l'angle màxim d'elevació (maxE) de les futures òrbites al nostre abast, ja que ens permetrà escollir les que millor encaixen amb les nostres antenes , si són omnidireccionals, de manera que maximitzarem les nostres opcions d'aconseguir algun contacte al passí, mentre que si tenim antenes directives i rotors també ens ajudarà a estimar els millors passis amb més durada.

No oblidem que realment WinAOS és un “subprograma”, perquè encara que utilitza el mateix arxiu de paràmetres keplerians que el mateix SatPC32, en iniciar-lo necessitem col·locar-li també les nostres coordenades a la casella “Observer” de la seva configuració (Setup), doncs per defecte conté les del QTH de l'autor. No seràs el primer que s'oblida d'aquest petit detall i no entén res del que li surt en aquest llistat, ja que no encaixa amb allò llistat al requadre “Countdown”.

Previsualització de l'òrbita: “Preview”

Finalment, la tercera opció es troba a la segona pestanya de la pantalla principal, l'opció la pestanya “Tracking”, que dóna pas a dues opcions “Real Time” (Temps real) i “Preview” (figura 11). El “Real Time” (o temps real) és l'opció per defecte perquè és el que farem servir habitualment per al seguiment actiu d'un satèl·lit, però aquí se'ns permet l'opció “Preview” (Previsió), de manera que podrem fer una simulació completa d'una òrbita i següents del

satèl·lit, avançant el temps de manera manual a partir de l'actual amb l'interval que desitgem ("Interval"), per exemple saltant de minut en minut (figura 11).

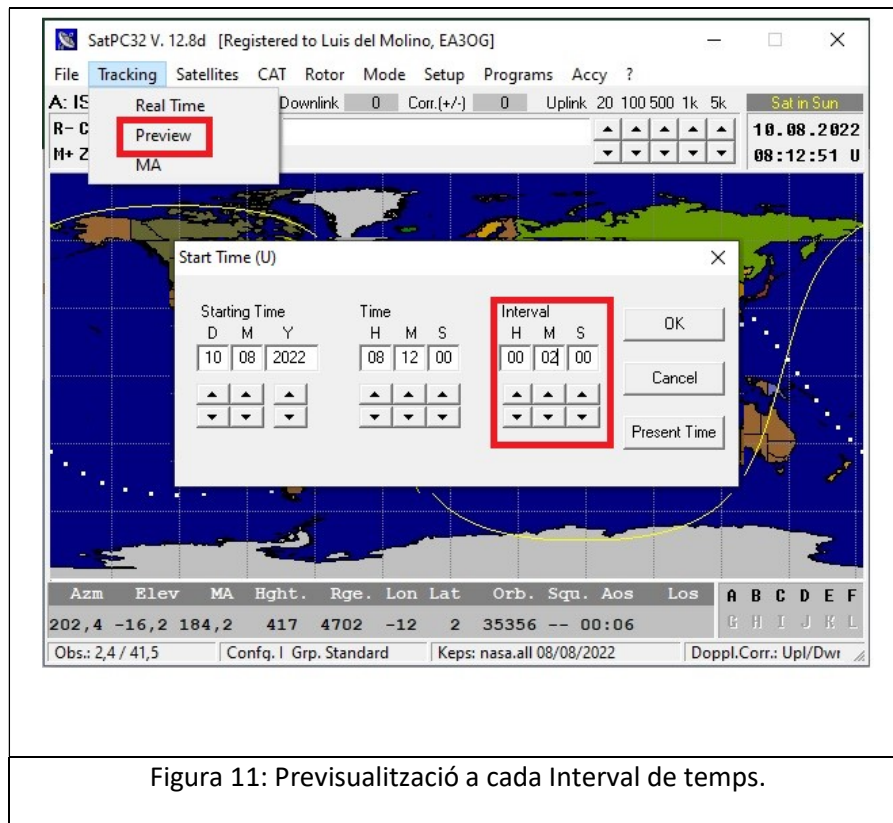


Figura 11: Previsualització a cada Interval de temps.

Amb aquesta opció podrem analitzar amb cura el passi de qualsevol satèl·lit i preparar-nos una gràfica del passi com la de la figura 12, especialment útil si el seguirem amb una antena de mà sense mirar la pantalla de l'ordinador. I com a segona utilitat, també aquesta simulació ens permet per exemple preveure la trajectòria que seguirà la ISS, un grandios espectacle brillant al cel de forma ben visible, que es pot contemplar quan passi a prop del nostre QTH i tingui lloc a les primeres hores de la nit, quan la ISS encara està il·luminada pel sol, creuant el cel a la velocitat de 27.000 km/h. No us perdeu l'espectacle alguna nit d'estiu.

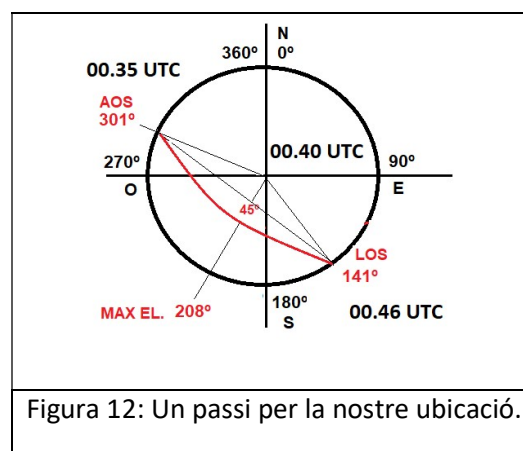


Figura 12: Un passi per la nostre ubicació.

Activació de la correcció Doppler (C→C+)

Finalment per activar la correcció del Doppler al nostre equip, haurem de clicar sobre l'opció "C-" i canviar-la per l'opció "C+" a la pantalla principal del SatPC32. Però abans haurem d'haver obert la solapa CAT, on ens apareixeran les freqüències del satèl·lit escollit en la pantalla (lletra A: ISS) i arxivades a l'arxiu DOPPLER-SQF. Aquí podrem escollir les freqüències RX/TX que volem utilitzar. A la figura 13 hem escollit la freqüència central del transponedor lineal de l'RS-44.

A més, quan passem el cursor per sobre de l'opció escollida, se'ns mostrarà a la línia inferior del requadre la línia completa corresponent de l'arxiu Doppler.SQF, on podrem llegir els comentaris de recordatori que hàgim afegit al final d'aquesta línia.

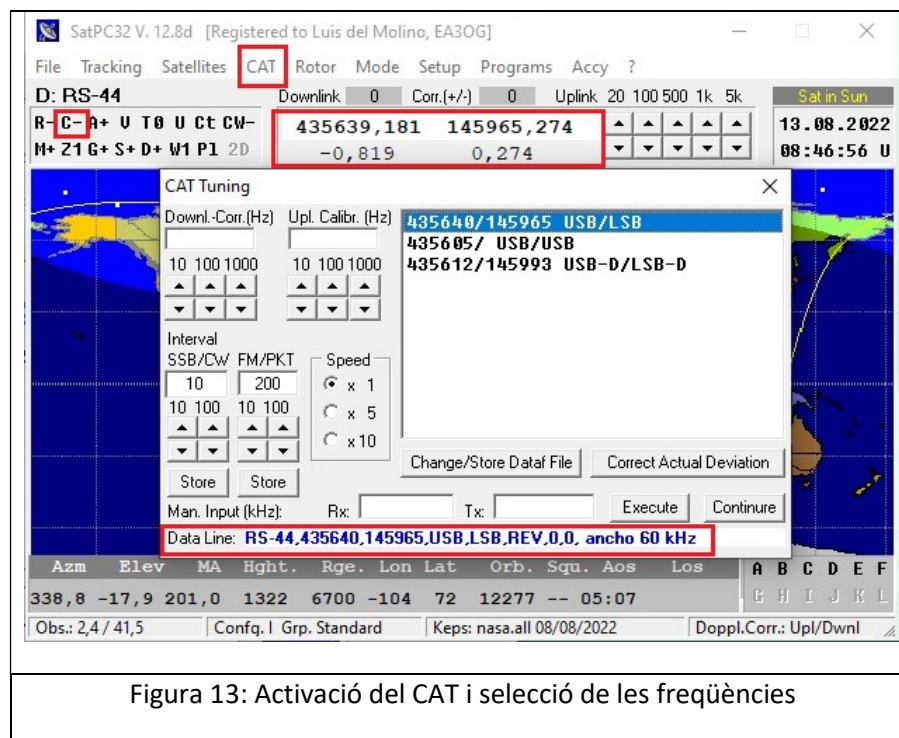


Figura 13: Activació del CAT i selecció de les freqüències

En obrir l'opció CAT del SatPC32, ens trobem que en molts satèl·lits apareixen diverses línies diferents procedents de l'arxiu DOPPLER.SQf, que és degut a que el satèl·lit disposa de diversos transmissors i nosaltres hem d'escollir el que ens interessa en aquest moment.

A la figura 13, la primera línia corresponent al satèl·lit RS-44 ens descriu que es tracta d'un repetidor lineal per a SSB amb entrada centrada a 145.965 i sortida centrada a 435.640 amb el comentari afegit que disposa de 60 kHz d'amplada de banda per a la nostra orientació.

La segona línia es correspon amb una balisa que transmet telemetria en Morse i que, per tant, es rep perfectament en la modalitat USB a l'única freqüència que s'hi mostra.

Finalment, la tercera línia indica les freqüències del satèl·lit que s'utilitzen com a referència per a les comunicacions digitals i que quan hi poses el cursor envia l'ordre USB-D/LSB-D, perquè els equips que accepten aquestes ordres s'adaptin a aquesta modalitat, especialment adequada per a l'FT-4 del programa WSJT-X i que ens obre els 3 kHz que normalment s'utilitzen per a aquesta activitat a la que dedicarem tot el capítol 10.

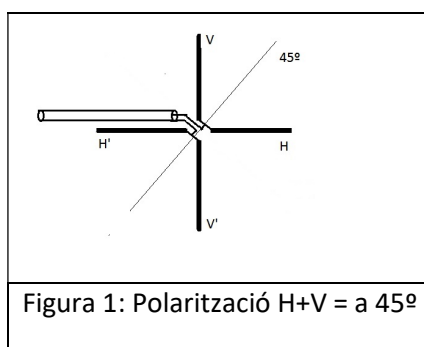
CAPÍTOL 6: ANTENES

Es detalla el perquè de la polarització circular per operar amb els LEO i les antenes més adequades per assolir-los i rebre'ls.

Polarització de les antenes d'un Cubesat

La polarització amb què arriba el senyal emès per un satèl·lit LEO no se sap molt bé quina és, perquè amb el gir del satèl·lit la polarització canvia constantment, cosa que provocaria un fort QSB (fading o esvaïment) a la recepció amb cada gir, si la nostra antena té polarització lineal ja sigui horitzontal o sigui vertical. Concretament s'anul·la el senyal quan el camp elèctric arriba perpendicular a la nostra antena lineal, això fa molt variable la recepció dels seus senyals, amb un parell d'anul·lacions per cada gir.

Per evitar aquest problema, el primer que se'ns acudeix és col·locar dos dipòls creuats un horitzontal i un altre vertical, connectats en paral·lel per poder captar tant un senyal de polarització horitzontal com un de vertical (figura 1), però el resultat real és que l'efecte que aconseguim amb la connexió en paral·lel és el d'una antena amb polarització lineal, però a 45° , la bisectriu de l'angle que formen, de manera que el problema del QSB segueix existint exactament igual.



Antena de polarització circular

La solució més efectiva contra el QSB consisteix a utilitzar antenes de polarització circular mitjançant la connexió de dos dipòls creuats units en paral·lel amb un desfasador de 90° intercalat entre els dos dipòls, desfasador que imprimeix un gir a la polarització a la velocitat de la freqüència de transmissió, tal com es mostra a la figura 2:

El diagrama mostra dos dipòls creuats (H i V) connectats en paral·lel. Un desfasador de $\lambda/4 \times F_v$ està intercalat entre ells. Fletxes circulars indiquen el gir de la polarització.	El diagrama mostra un cubesat amb dues antenes de polarització circular, una horitzontal i una vertical, connectades en paral·lel. Els eixos de coordenades (X, Y, Z) i (X', Y', Z') estan indicats.
Figura 2: Polarització circular amb dipòls	Figura 3: ¿Cubesats amb polarització circular?

Per aconseguir que la polarització circular giri a dretes, és a dir en el sentit de les agulles del rellotge, el centre del coaxial ha d'anar connectat primer a una de les branques, per exemple la branca V, i després, mitjançant la connexió d'un defasador de $\lambda/4$ elèctrics, fer-la arribar un quart de cicle més tard (90°) a la branca H de l'altre dipol, la branca situada just a la dreta de la V anterior vista darrere. Al següent quart de cicle, el mateix camp elèctric arriba a la branca V' i en un altre quart de cicle més tard arribarà a la branca H', per tornar de nou a la V al quart de cicle final. Per aconseguir que el gir circular sigui oposat a esquerres, només caldria connectar el centre del tros del coaxial defasador a la branca H' en lloc de la H.

¿Polarització circular o giratòria d'un Cubesat?

El problema del Cubesat és que les seves cares són molt petites i ja dona molta feina col·locar un dipol amb dues branques de flexo enrotllades a la cara superior i una altra a la inferior, cosa que fa molt difícil la col·locació de dos dipols creuats que emetessin amb polarització circular (figura 3), així que normalment tots es limiten a col·locar un sol dipol per banda a cada cara i només la ISS transmet amb polarització circular, perquè no té problemes pel que fa a la mida de l'antena.

Així que gairebé tots els Cubesats transmeten normalment amb polarització lineal encara que giratòria perquè varia al ritme del seu propi gir, de manera que et toca a tu, el receptor, resoldre el problema del QSB a la recepció dels senyals amb polarització giratòria, problema que podem resoldre fàcilment mitjançant l'ús d'una antena receptora de polarització circular. En transmissió també enviarà una emissió amb polarització circular que, al seu torn, serà rebuda pels dipols del Cubesat gairebé sense QSB.

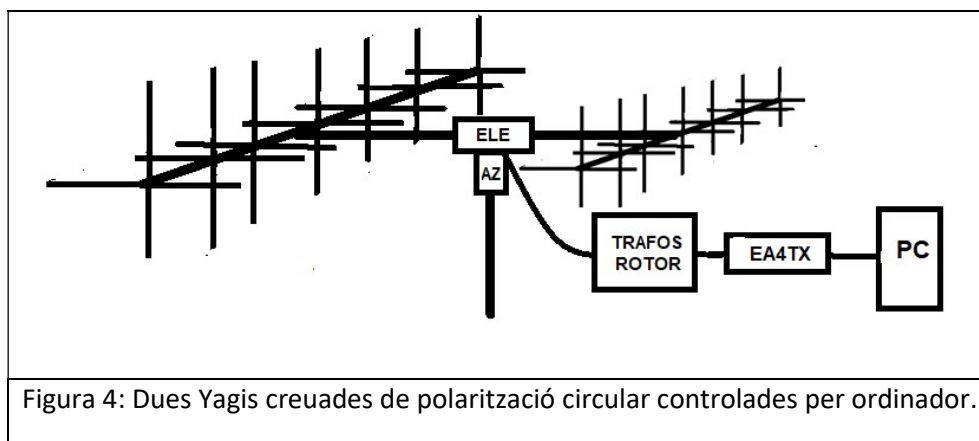
L'avantatge de la recepció circular

L'avantatge de la recepció mitjançant una antena de polarització circular és que només es perden -3 dB respecte a la recepció d'un senyal de polarització lineal, sigui quina sigui la seva polarització. D'aquesta manera, en rebre un Cubesat amb una antena de polarització circular es perd una mica de nivell del senyal, però se supera molt bé el problema de l'esvaïment ocasionat pel gir quan la polarització arriba perpendicular a la de la nostra antena lineal i la recepció esdevé molt més estable.

Això vol dir que no surt gaire a compte instal·lar un commutador de polarització circular dreta/esquerra en una instal·lació de recepció de satèl·lits amb antenes de polarització circular, perquè la majoria de Cubesats disposen d'una antena que transmet amb polarització lineal i els -3dB els perdrem igual, tant si ens arriba el senyal amb polarització vertical com horitzontal.

Les antenes òptimes per a satèl·lits

Per parlar de les antenes més convenients per a satèl·lits, crec que el millor és començar pel sistema d'antenes òptim per rebre tots els satèl·lits i que consisteix a col·locar dues antenes Yagi creuades independents, una per a transmissió i una altra per a recepció, ambdues amb defasador per a obtenir polarització circular i controlades per ordinador, de manera que romanguin perfectament apuntades cap a la trajectòria del satèl·lit. (figura 4).



Normalment n'hi ha prou amb una Yagi de 2 x 6 elements per a 146 i una altra Yagi de 2 x 9 el. per a 436 MHz apuntades amb rotors d'elevació i azimuth, com ara el Yaesu 5600, 5500 o 4500 i amb seguiment per ordinador mitjançant una controladora USB d'EA4TX. El guany recomanat és d'uns 12 dBi per a 146 i d'uns 14 dBi per a 437 MHz, cosa que representa uns 6 elements per a VHF i uns 9 per a UHF.

Més endavant, en un altre capítol parlarem de les antenes més simples com serien les omnidireccionals i que ens permetran arribar força bé a tots els Cubesat sense una instal·lació tan complicada.

Rotors amb azimuth i elevació



El rotor més recomanable per manejar un parell d'antenes de seguiment de satèl·lits és algun dels dobles rotors AZ-Elev de Yaesu, el 5600, 5500 o el 4500 (figura 5), dels quals hi ha una versió amb transformadors de CA i que necessita 12 fils de control $2 \times 6 = 12$ (4500) i un de més modern 5500 i 5600 alimentats amb motors de CC, que necessiten menys fils de control que els de CA ($2 \times 5 = 10$) i amb el que et sobren 2 fils per enviar l'alimentació als preamplificadors si t'interessa.

Els rotors ja siguin de CA o la CC utilitzen una alimentació de baixa tensió, perquè com tot element exterior no han de funcionar amb tensions superiors a 50 V, per la qual cosa acostumen a emprar tensions de 24 V a CC i de 33 V a CAterna, tensions molt més apropiades per a l'ús en exteriors que la tensió de xarxa de 230 V.

A més dels transformadors i comandaments de moviment d'elevació a dalt/a baix, i dreta/esquerra d'azimut, les unitats d'alimentació disposen d'indicadors de la posició dels rotors que vénen donades per potenciòmetres instal·lats a l'interior de cada rotor i que en proporcionen dos tensions variables que mouen indicadors analògics d'azimut de 360 ° i d'elevació de 180 °.

La interfície ARS-USB d'EA4TX

Per controlar els rotors amb un programa de seguiment com el SatPC32, necessitem a més intercalar una unitat de control USB intel·ligent que ens permeti manejar els relés dels rotors des del programa, i un dels elements més utilitzats pel seu disseny i comoditat de connexió és la interfície USB d'EA4TX (figura 6) que ens permet controlar 5 relés (2 per la pujada/baixada, 2 més per dreta/esquerra i un cinquè per si cal controlar un fre).

Mitjançant 4 pulsadors i el programa ARSVCOM instal·lat al PC podrem manejar remotament els 4 pulsadors dels dobles rotors Yaesu i també els de qualsevol altre rotor, com els Prosistel, Ham IV o TX2, encara que aquests dos últims necessiten el control del cinquè relé per desactivar el fre mecànic interior i per als que hi ha molts esquemes a Internet amb instruccions per modificar-los i connectar-los també a la unitat ARS-USB.

El programa ARSVCOM

Al PC, per comunicar-nos amb els rotors mitjançant la interfície ARS-USB, necessitarem instal·lar el programa de control corresponent ARSVCOM, que disposa d'una pantalla gràfica molt còmoda de manejar (figura 7), ja que només cal clicar amb el ratolí en qualsevol rumb o direcció azimutal que desitgem, tant d'azimut com d'elevació (línia indicadora blava), perquè immediatament la unitat USB accioni els seus relés interns, prèviament connectats amb la unitat de control dels motors del doble rotor, perquè les nostres antenes es moguin fins la posició real indicada per una línia vermella i, quan coincideixi amb la línia blava de la direcció sol·licitada, se n'aturi el moviment.

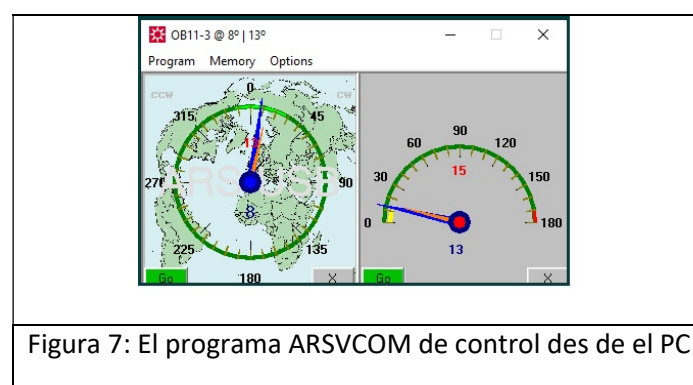


Figura 7: El programa ARSVCOM de control des de el PC

Per descomptat que haurem d'esbrinar prèviament amb l'Administrador de Dispositius del Windows el número del port COM que el Windows s'ha dignat concedir a l'ARS-USB, i ho haurem de col·locar a la configuració del programa ARSVCOM perquè es comuniquin entre ells.

A més, en iniciar-se el programa ARSVCOM, crea pel seu compte un segon port COM virtual, diferent de l'anterior, el número del qual haurem de buscar també per col·locar al programa

SatPC32 per indicar-li el port COM virtual amb què s'haurà de comunicar amb el dispositiu ARS-USB (figura 8), per enviar-li el rumb azimutal i l'elevació del satèl·lit que permetrà que els rotors en facin el seguiment en temps real.

L'EA4TX es pot configurar directament com ARS (figura 8) a les noves versions del SatPC32, en les que ja apareix al llistat de rotors, però quan jo vaig instal·lar aquesta interfície, encara no estava disponible per a l'ARS, així que jo ho vaig configurar com si l'EA4TX fos un rotor M2, perquè el programa ARSVCOM de l'EA3TX disposa de la possibilitat de simular que és el controlador d'un rotor M2 i aquesta configuració m'ha funcionat sempre perfectament, per la qual cosa ja no l'he canviada mai més, seguint l'axioma que “si alguna cosa funciona bé, no ho canviïs”.

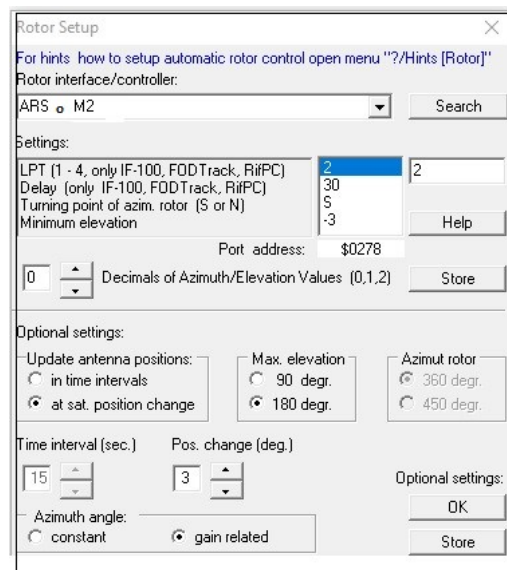


Figura 8 Configuració de l'ARS-USB

Activació dels rotors

Perquè es posi en marxa el seguiment d'un satèl·lit en temps real, al SatPC32 hem de clicar sobre el requadre de comandament “R-” perquè canviï el seu signe per “R+”, de manera que us indiquem que a partir d'ara envieu la posició calculada en cada moment per al seguiment automàtic, així que surti el satèl·lit per l'horitzó.

El programa SatPC32 només activa els rotors si el valor calculat de l'angle d'elevació del satèl·lit escollit supera el valor “-3r”, però roman inactiu si el satèl·lit escollit es troba molt més avall de l'horitzó. D'aquesta manera, per quan l'ocell sorgeixi realment per l'horitzó i l'elevació assoleixi valors positius (elev. > 0º), el rotor ja haurà tingut temps d'assolir l'azimut desitjat.

Comprovació de rotors

El problema és que si no tenim un satèl·lit sobre l'horitzó o per sobre de -3º, no s'activen els rotors i no podem comprovar que és correcta tota la configuració feta. Aleshores com podem comprovar prèviament que tot ha quedat degudament ben configurat?

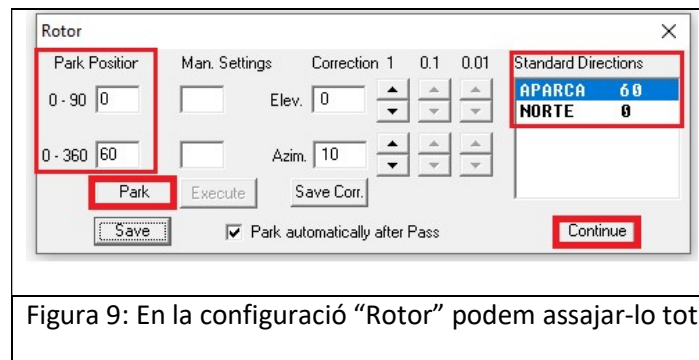


Figura 9: En la configuració “Rotor” podem assajar-lo tot

La solució és recórrer a la pestanya “Rotor” i activar unes adreces “Standar Directions” (figura 9) o definir una posició “Park Position”, diferent de la posició actual de les antenes i prémer sobre l'opció “Park” o “Continue ” per comprovar que s'activen els rotors i les nostres antenes es mouen degudament fins a complir les instruccions de l'aparcament en repòs.

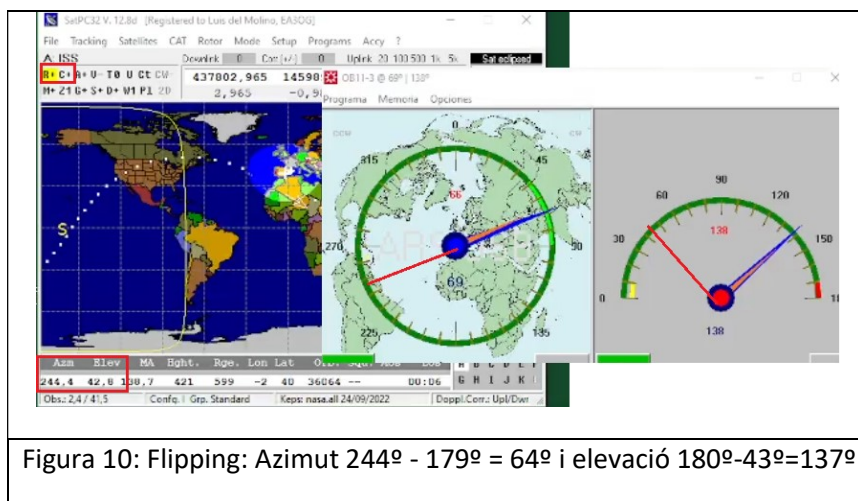
Passi pel Sud: la inversió de les antenes

El problema que se'ns presenta és que, com la majoria dels rotors, els Yaesu disposen d'un topall per evitar que els rotors puguin girar més d'una volta completa i seguir girant més d'una volta en el mateix sentit i arrencar els cables de les antenes.

Aquest topall es troba generalment col·locat en la direcció sud (azimut 180°). Això significa que, quan el satèl·lit en el seu moviment girant en sentit contrari a les agulles del rellotge arribi a assolir l'azimut 179° i pretengui passar al rumb 181° , es trobarà que el topall del rotor els ho impedeix.

Aleshores, s'interromp el seu moviment i el gir comença a canviar de sentit per moure's igual que les agulles del rellotge fins a donar tota la volta completa de gairebé 360° en sentit contrari, per poder continuar el seguiment als 181° a l'altra banda del topall. Durant el temps que dura tot aquest recorregut, es deixa d'apuntar al satèl·lit.

Si disposem d'un rotor (com els Yaesu) amb elevació que pugui superar els 90° d'elevació i assolir els 180° , de manera que les antenes puguin quedar horitzontals en posició oposada, aquest problema el SatPC32 ho resol molt fàcilment. El programa disposa d'un algorisme intel·ligent que detecta les òrbites amb passaran pel sud de l'observador i inverteix automàticament les antenes, “elevant-les” a una posició oposada ($180^\circ - \theta$ elev.) per poder seguir el satèl·lit amb les antenes en posició invertida, sense necessitat d'haver de donar una volta completa al rotor per prosseguir el seguiment a l'altra banda del topall (figura 10).

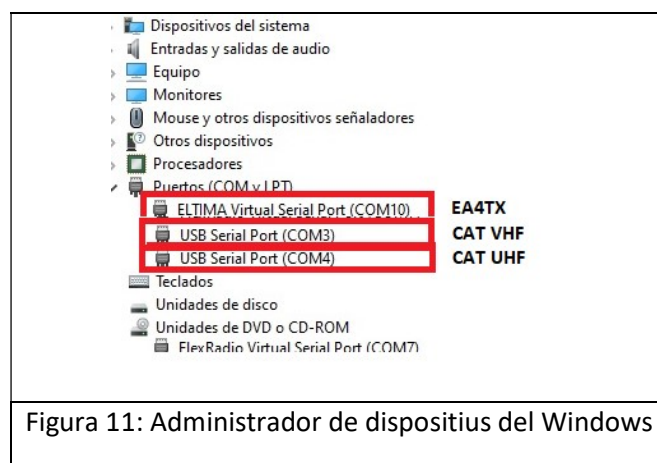


Aquesta operació inverteix les antenes i converteix la passada pel “sud” en una passada pel “nord” on no hi ha límit i el programa ho assenyalava posant un fons groc al comando “R+”. Aquest moviment és desconcertant, perquè de sobte les nostres antenes es mouen d'una forma inesperada que no coincideix amb l'azimut i l'elevació prevista i indicada per al satèl·lit, sinó que el nou azimut que assenyalen és l'azimut indicat $\pm 180^\circ$ i l'elevació nova és $180^\circ -$ l'elevació prevista. Així que doneu-vos per avisats i no us poseu nerviosos.

La configuració dels ports CAT

Per connectar l'equip amb l'ordinador per corregir el Doppler, cal configurar bé els ports COM que realitzaran la interfície amb el connector CAT de cadascun dels dos equips i que vindran donats per un port físic en cas d'un equip clàssic, o millor actualment, per un port COM generat per la connexió USB dels equips més modern o bé per un COM virtual que cal instal·lar en el cas que utilitzem un receptor SDR.

- El número que el Windows els ha concedit a aquests ports COM cal esbrinar-ho buscant el número que s'ha dignat concedir-los el SO Windows, al que podeu accedir directament amb Windows 10 i 11 escrivint les paraules màgiques “Administrador de dispositius” al cercador del propi Windows (figura 11).



Un cop obert l'Administrador de dispositiu, hem de descobrir el número de COM que Windows ha concedit a la connexió amb l'equip. Modernament gairebé tots els equips proporcionen ja una connexió USB entre PC i transceptor que transporta els dos "streams" d'àudio (TX i RX) i també emula un parell de ports COM virtuals, un per al CAT i un altre per al PTT, els quals apareixen i desapareixen en endollar i desendollar el cable USB de l'equip, cosa que permet distingir-los fàcilment d'altres dispositius que puguin utilitzar altres ports COM, com ara la utilització del port COM virtual per connectar el programa de seguiment amb el programa ARSVCOM d'EA4TX per controlar els rotors.

Connexió CAT entre SatPC32 i el PC

La configuració de la connexió CAT entre el programa SatPC32 i els nostres equips control del Doppler es realitza obrint la pestanya Setup -> RadioSetup i seleccionant primer l'equip entre allà les opcions que allà se'ns proporcionen, tenint en compte que el número del port COM virtual o físic adjudicat ho haurem d'haver esbrinat prèviament a l'Administrador de Dispositius del Windows.

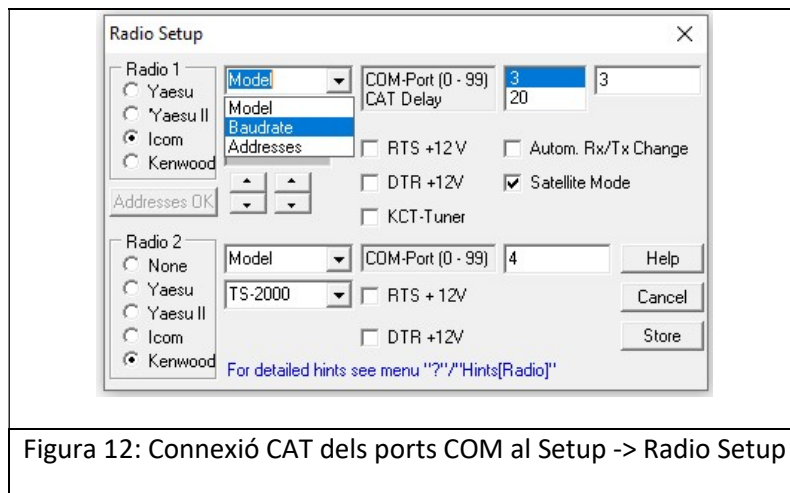


Figura 12: Connexió CAT dels ports COM al Setup -> Radio Setup

Un parell més de detalls importants

També necessitem saber un parell de detalls més que són difícils de descobrir sense llegir-se gaire a fons els manuals: el primer truc consisteix que, si utilitzem un SDR addicional per a la recepció mitjançant el programa Radio-Console de Simon Brown, aquest respon a tots les ordres CAT d'un Kenwood TS-2000, així que haurem de configurar-lo com aquest model i col·locar aquí el número del port COM virtual (un cable virtual de connexió que hauríem d'instal·lar prèviament al nostre ordinador) que establirà la comunicació interna entre el SatPC32 i el Radio-Console, amb el número que us ha atorgat el Windows a l'Administrador de dispositius.

El segon truc que hem de saber és que, en cas que l'equip principal sigui una connexió física (USB) i no virtual, la velocitat del port COM en bauds és essencial que sigui exactament la mateixa de la configuració interna de l'equip de ràdio, però al SatPC32 aquest valor en bauds està inesperadament ocult (figura 12) sota "Model".

Clicant sobre l'opció “Model”, a sota s'obre un desplegable ocult on trobarem l'opció dels bauds (“Baud”) i hi haurem de col·locar la mateixa velocitat amb què està configurat el port COM de l'equip transmissor. En canvi, si el port COM és virtual perquè utilitzem un SDR, aquesta velocitat és indiferent perquè l'SDR accepta qualsevol valor que s'ha col·locat aquí en aquest camp.

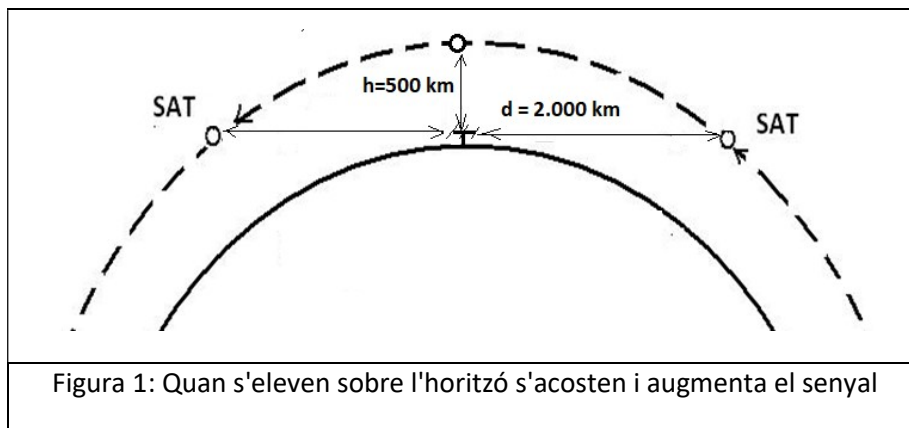
Si l'equip és un ICOM, a més haurem de configurar unes adreces (“Adresses”) que varien segons sigui el model de l'equip i que serveixen per distingir-los per control remot en cas que s'utilitzin diversos equips diferents.

CAPÍTOL 7: ALTRES ANTENES UTILITZABLES

S'explica el guany de proximitat i les elevacions més probables, les conclusions sobre l'antena ideal i l'avantatge que representa utilitzar antenes de polarització circular.

El guany de proximitat

Un gran avantatge dels satèl·lits LEO consisteix que, quan treuen el cap per l'horitzó, es troben a una distància considerable, però després se'ns acosten més elevant-se des de l'horitzó a gran velocitat, fins a assolir una elevació màxima en graus respecte al nostre horitzó visual, per tornar a allunyar-se de nosaltres fins a desaparèixer per un altre punt de l'horitzó. En aquesta aproximació que fan quan s'eleva sobre l'horitzó es produeix un gran augment dels seus senyals, donada per la seva proximitat més gran, guany que podem calcular molt fàcilment (figura 1).



Augmenta +6 dB en dividir la distància per 2.

Si un LEO orbita a una altitud de 500 km, la reducció de la distància respecte a la seva aparició per l'horitzó (que es troba a uns 2.000 km de distància), ens milloraria el senyal si passés exactament per sobre nostre el $2000/500 = 4$ vegades = 22 (2 vegades +6 dB) i per tant el guany per proximitat seria $G_p = +6 \text{ dB} \times 2 = +12 \text{ dB}$ entre aparició per horitzó i passi pel nostre zenit.

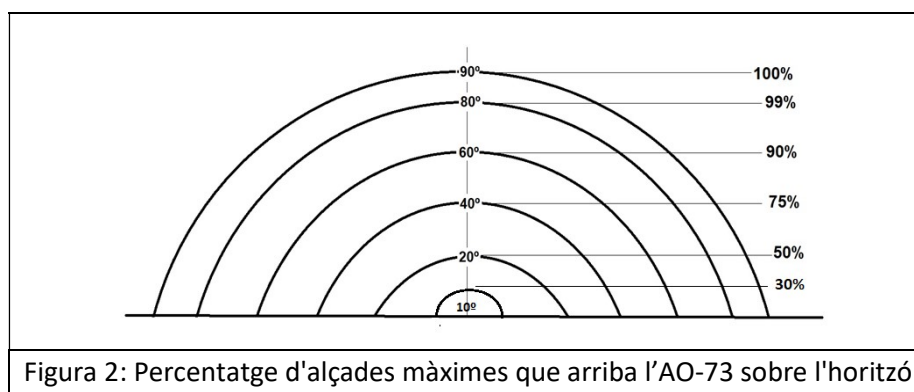
Si un LEO orbita a una altitud de 1500 km, apareixerà per l'horitzó a aproximadament 4.500 km de distància i el guany màxim de proximitat per sobre nostre seria de $G_p = 4500/1500 = 3 = 21,5$ i per tant $G_p = +6 \text{ dB} \times 1,5 = +9 \text{ dB}$ des de la sortida per l'horitzó fins al pas pel zenit nostre.

És fàcil calcular una taula de guanys de proximitat en funció de l'alçada assolida sobre l'horitzó per a tres satèl·lits molt representatius, un de baixa altitud, un altre de gran altitud i la ISS que circula a una altitud encara més baixa)Taula I).

Taula I de guany per proximitat						
Elevació màxima	ISS		AO-73		AO-07	
Graus	Dist. km	Gain dB	Dist. km	Gain dB	Dist. km	Gain dB
90º	450	+14,49	630	+13,51	1460	+9,74
80º	457	14,36	625	13,58	1500	9,51
70º	475	14,02	680	12,85	1550	9,23
60º	510	13,41	725	12,29	1650	8,68
50º	550	12,75	800	11,44	1800	7,93
40º	635	11,51	975	9,73	2000	7,02
30º	800	9,51	1150	8,30	2300	5,81
20º	1000	7,58	1400	6,60	2850	3,95
10º	1500	4,07	2000	3,51	3600	1,93
5º	1900	2,02	2400	1,93	4010	1,00
0º	2400	0,00	3000	0,00	4500	0,00

Les elevacions màximes més freqüents

Aquí teniu també una gràfica (figura 2) de com es veurien les passades dels satèl·lits des del teu QTH, en funció de l'elevació màxima que arriben sobre el nostre propi horitzó visible i també hi apareixen representats els percentatges d'òrbites que arriben a aquesta elevació per aquest satèl·lit en concret, l'AO-73.



La taula estadística en què em vaig basar per obtenir aquesta gràfica la vaig realitzar passant a un full Excel totes les alçades màximes assolides en 100 òrbites successives simulades per a cada satèl·lit amb dues altituds molt diferents extremes, mitjançant el programa de seguiment SatPC32 (el meu favorit) i sumant el nombre d'elevacions que arribaven a cada tram

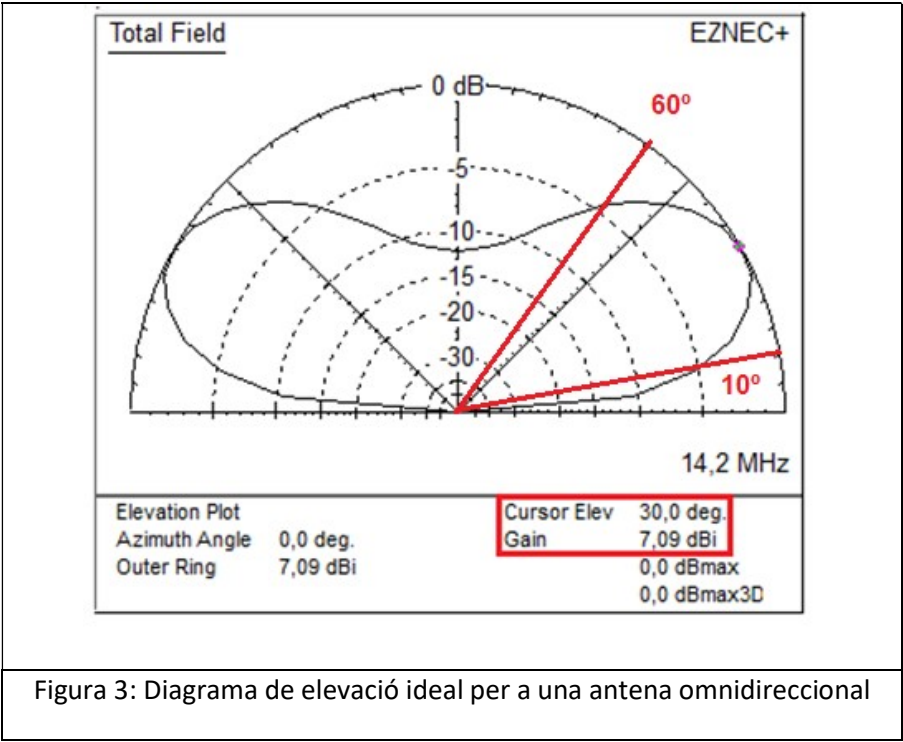
d'elevació. El resultat el teniu a la taula II següent, mentre que al gràfic de la figura 13 només reflecteix l'estadística obtinguda amb l'AO-73.

Taula II de simulació de 100 passades per 42º Lat. Nord									
Satèl·lit	Màx. ele.	< 10º	< 20º	< 30º	< 40º	< 50º	< 60º	< 70º	< 80º
AO-07	1400 km	28%	48%	60%	72%	80%	88%	96%	100%
AO-73	550 km	32%	56%	71%	81%	92%	97%	98%	100%

Com podeu comprovar, podem afirmar que aproximadament en el 90% de les passades, les elevacions màximes assolides per gairebé tots els Cubesats compresos entre altituds entre 550 km (la més baixa) i els 1400 km (la més alta), es troba per sota dels 60 º d'elevació.

Conclusions sobre l'antena ideal

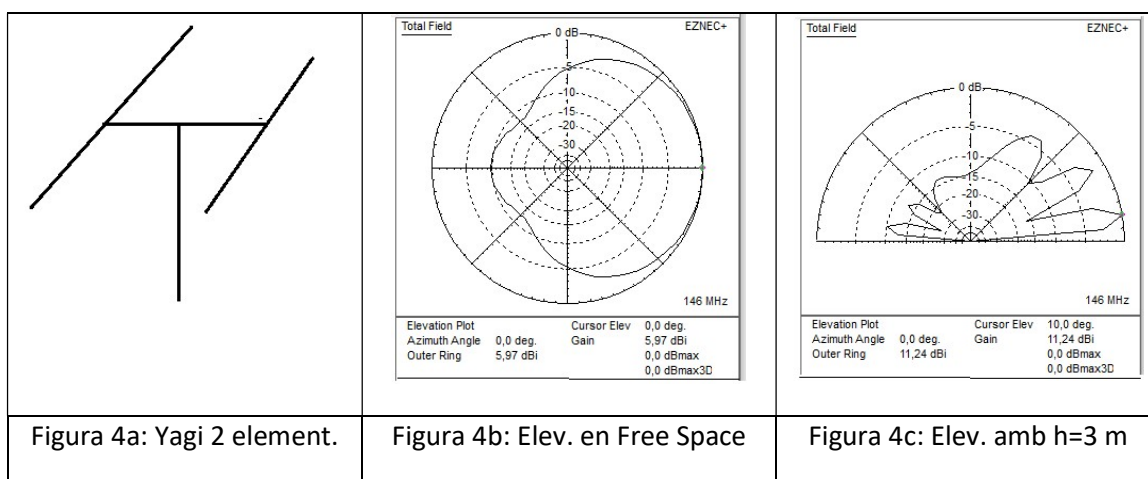
Tenint en compte que les òrbites que no s'eleven més de 10º no són a penes operatives per la llunyania i la curta durada (a penes 1 o 2 minuts), per determinar les antenes més simples i adequades per rebre satèl·lits, necessitarem que compleixin disposar d'una bona guany en angles compresos entre els +10º, o sigui més o menys cap al nostre horitzó visible, i que la mantinguin el més constant possible fins a uns +60º d'elevació, cosa que ens permetrà comunicar bé a través del 90% de les òrbites dels Cubesat. No sembla que interressi que el seu lòbul de guany treballi per sobre dels 60º, perquè ja hem comprovat que menys del 10% de les òrbites arriben a aquesta elevació sobre el nostre horitzó. Aquí tenim (figura 3) un bon exemple de quin seria el lòbul de radiació que necessitaríem,



La gràfica d'elevació ideal s'assembla molt a la mostrada a la figura 3, però ho sento molt haver-vos de dir que realment aquesta gràfica és tramposa, perquè correspon a la d'un dipol per a la banda de 20 metres col·locada a 10 metres d'alçada ($\lambda/2$). Resulta que no és tan fàcil aconseguir aquesta gràfica per a antenes de 144 i 432 Mhz, com veurem més endavant.

Yagi de 2 elements de polarització horitzontal

Com que és molt possible que tinguem alguna antena directiva amb rotor per a 144 i 432, ja que comprovem si el seu lòbul d'elevació és adequat per a angles entre 10° i 60° . Per començar analitzem el lòbul d'una Yagi amb tan sols 2 elements situada a una alçada molt normal de 3 metres, una alçada molt habitual per a antenes de 144 (figures 4a, 4b i 4c).

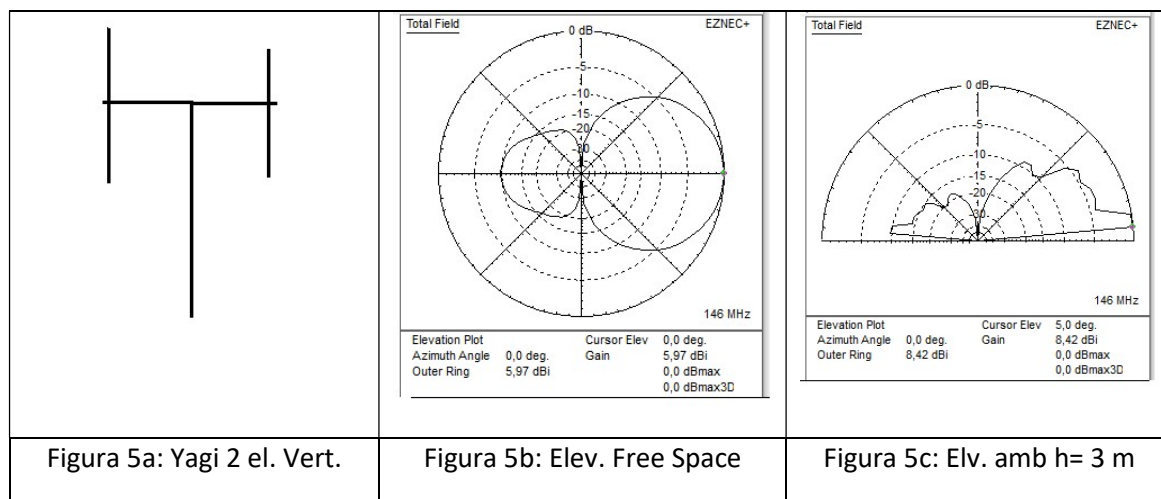


A l'espai lliure d'obstacles (Free Space) aquesta Yagi ja té un guany màxim de 5.97 dBi i un angle d'obertura d'elevació molt ample, però sobre un sòl real, l'efecte reflector del sòl, encara que sigui de conductivitat molt pobre, eleva el seu guany màxim a 11,24 dBi a 10° (figura 4c) i podríem dir que manté un guany positiu més o menys entre 5° i 75° , amb un parell de buits en 20° i 45° . Aquests buits, si aquesta antena està col·locada a dalt d'una casa o un edifici, són força impredecibles, però probablement quedaran molt suavitzats perquè hi haurà poca reflexió en un terra molt mal conductor, especialment si ens trobem al mig dels edificis d'una gran ciutat.

Si la Yagi fos més llarga, encara tindria més guany en angles menors en detriment de la gent gran, ja que la seva obertura d'elevació seria molt més estreta, així que ens funcionarà molt pitjor per a angles més alts, mentre el seu guany no sigui excessiu, però per suposat tindrem l'inconvenient que necessitem un rotor per mantenir ben dirigit el lòbul de radiació cap al satèl·lit durant el passi i un bon control manual de la seva orientació en azimuth (que probablement ja tindrem) ja sigui de forma automàtica o mitjançant un PC.

Yagi en polarització vertical

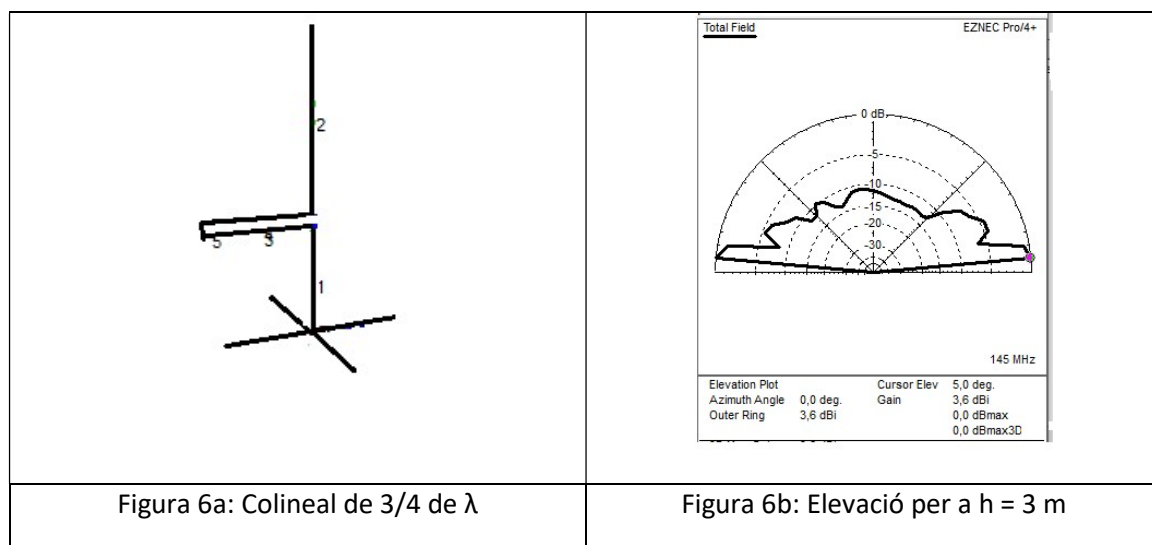
Vegem com es comporta la mateixa Yagi de dos elements, però en polarització vertical:



Resulta que en col·locar-la en posició vertical els buits en 20° i 45° ja s'han emplenat considerablement, ja que l'angle d'obertura vertical a l'espai lliure sol ser molt més gran, però el guany màxim ha disminuït a 5,4 dBi, a causa del manca de reflectivitat de la polarització vertical en qualsevol tipus de sòl que no sigui un conductor perfecte o almenys excel·lent. I no manté bé el seu guany per a angles superiors a 40 °. Ens podria sortir a compte col·locar una Yagi en posició vertical, però la seva col·locació mecànica en un pal també vertical complica la instal·lació.

Col·lineals: no, gràcies

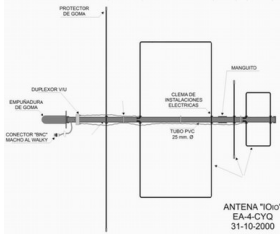
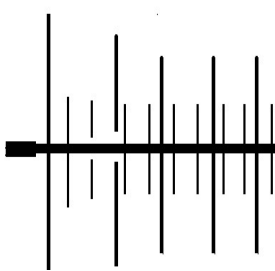
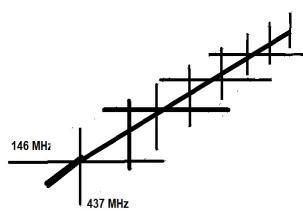
Les col·lineals, per molt curtes que siguin, tenen el mal costum de radiar molt bé cap a angles molt, però que molt baixos. A mi se m'ha acudit modelar una simple Ground Plane de $\lambda/4$, perllongada verticalment en una mitja ona mitjançant un desfasador intermedi de 180° per enfasar els dos trams (figura 6a), de manera que formen una col·lineal més aviat petita de tan sols $\frac{3}{4}$ de λ . El resultat és que enfoca massa bé cap a l'horitzó amb un angle molt baix (figura 6b), amb un guany més aviat pobre si el comparem amb una Yagi de dos elements, però excessivament escassa per a angles de més elevació.



Antenes mixtes portables de mà:

Una manera molt popular d'iniciar-se en l'operació en satèl·lits de FM consisteix a operar en portable mitjançant antenes de mà mixtes, que es puguin sostenir i apuntar amb la mà, mentre que amb l'altra mà s'opera el micro de mà amb el PTT. No podem anomenar-les antenes bibanda, perquè realment tots els models funcionen les dues antenes per separat, amb dues baixades coaxials independents (figures 7a, 7b i 7c).

Amb elles, és molt fàcil apuntar al satèl·lit buscant constantment el màxim del senyal a recepció, després d'haver visualitzat prèviament la seva trajectòria al mapa d'un programa de seguiment, amb què haurem estudiat la trajectòria aproximada que seguirà el satèl·lit durant cada minut del passi en relació amb la nostra pròpia ubicació. Jo conec almenys tres antenes de mà que es detallen a les figures 7a, 7b i 7c:

		
Figura 7a; Moxon EA4CYQ	Figura 7b: Yagi x2 entrelaçades	Figura 7c: Mista creuada

La més fàcil de fabricar seria la Moxon amb reflector i un excitat rectangular d'una ona completa per a cada banda, i la més difícil de dissenyar serien les dues Yagis entrelaçades, perquè els elements de 144 ressonen també al tercer harmònic i afecten els elements de 432. La més manejable és la mixta creuada perpendicular de la qual us puc recomanar l'antena comercial Arrow, una antena excel·lentment dissenyada per a portable, molt lleugera i manejable, encara que sigui una opció més aviat cara.

Inconvenient de les antenes lineals

Només els satèl·lits més sofisticats (per exemple la ISS) permeten el luxe de disposar d'un parell de dipols creuats per emetre i rebre amb polarització circular (en realitat disposa d'una antena de ranures creuades). La majoria dels cubesats es conformen amb un dipol de mitja ona, realitzats amb dos braços de cinta de flexo que es despleguen en cares oposades i per a cadascuna de les bandes (VHF i UHF), cosa que dona com a resultat que realment emeten amb una polarització lineal que gira a l'espai a mesura que el satèl·lit també gira lentament sobre si mateix per estabilitzar-se, gir obtingut ja sigui per mètodes actius o passius.

La polarització lineal (vertical o horitzontal) que rebrem d'un Cubesat serà per tant imprevisible per aquest gir estabilitzador, l'objectiu del qual és mantenir una actitud adequada, preferentment amb el seu eix de gir (Z-Z') el més paral·lel possible a l'eix N-S de gir de la Terra, de manera que s'aconsegueixi la màxima il·luminació als panells solars laterals (capes X-X' i Y-Y) al llarg de totes les estacions de l'any.

Aquesta polarització lineal giratòria dóna lloc a un fading o QSB continu lent amb uns mínims molt pronunciats quan es reben amb una antena de polarització lineal, perquè en algun moment sempre la polarització ens arriba des del satèl·lit perpendicular a la de la nostra antena receptora, si aquesta última també és lineal. Per això es prefereix fer servir antenes de polarització circular a l'estació base per treballar els satèl·lits.

La solució: la polarització circular

Recorrem a antenes de polarització circular, ja que aquestes antenes són molt més insensibles a aquest fading periòdic de les antenes lineals produïdes pel gir de la polarització del satèl·lit, perquè només perden -3 dB a la recepció de qualsevol polarització lineal, sigui vertical o horitzontal, respecte a una antena amb la mateixa polarització lineal. Es prefereix sacrificar aquests -3 dBs de guany per aconseguir una recepció més estable i menys sensible als canvis de la polarització lineal.

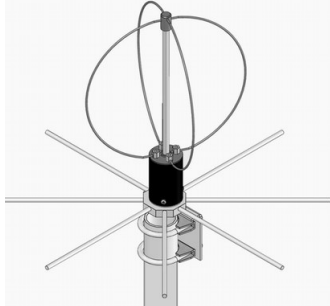
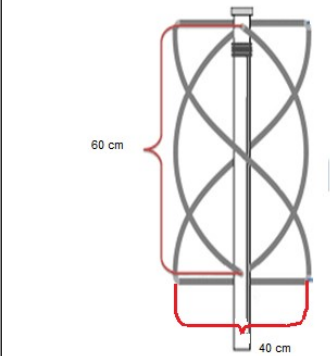
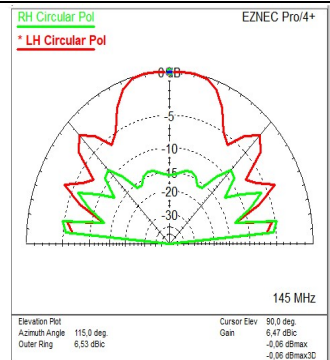
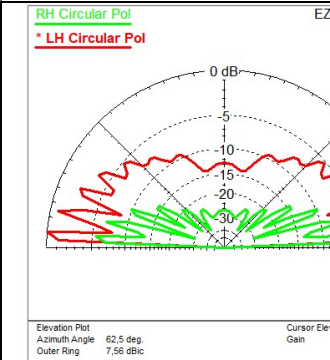
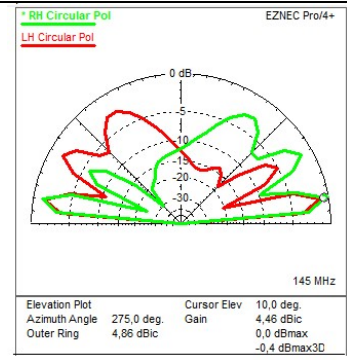
Al capítol següent analitzarem més a fons les antenes omnidireccionals amb polarització circular que ens permetran resoldre el problema del QSB pel gir del satèl·lit.

CAPÍTOL 8: ANTENES OMNIDIRECCIONALS

S'analitzen les antenes omnidireccionals de polarització circular i els seus diagrames de radiació.

Antenes omnidireccionals de polarització circular

Sempre s'ha proposat com a antenes molt adequades per a satèl·lits l'EggBeater o batedora d'ous, la quadrifiliar helicoïdal (QFH) i la Lindenblad. A la figura 1a, 1b i 1c mostrem cadascuna de les antenes amb els seus respectius diagrames de radiació.

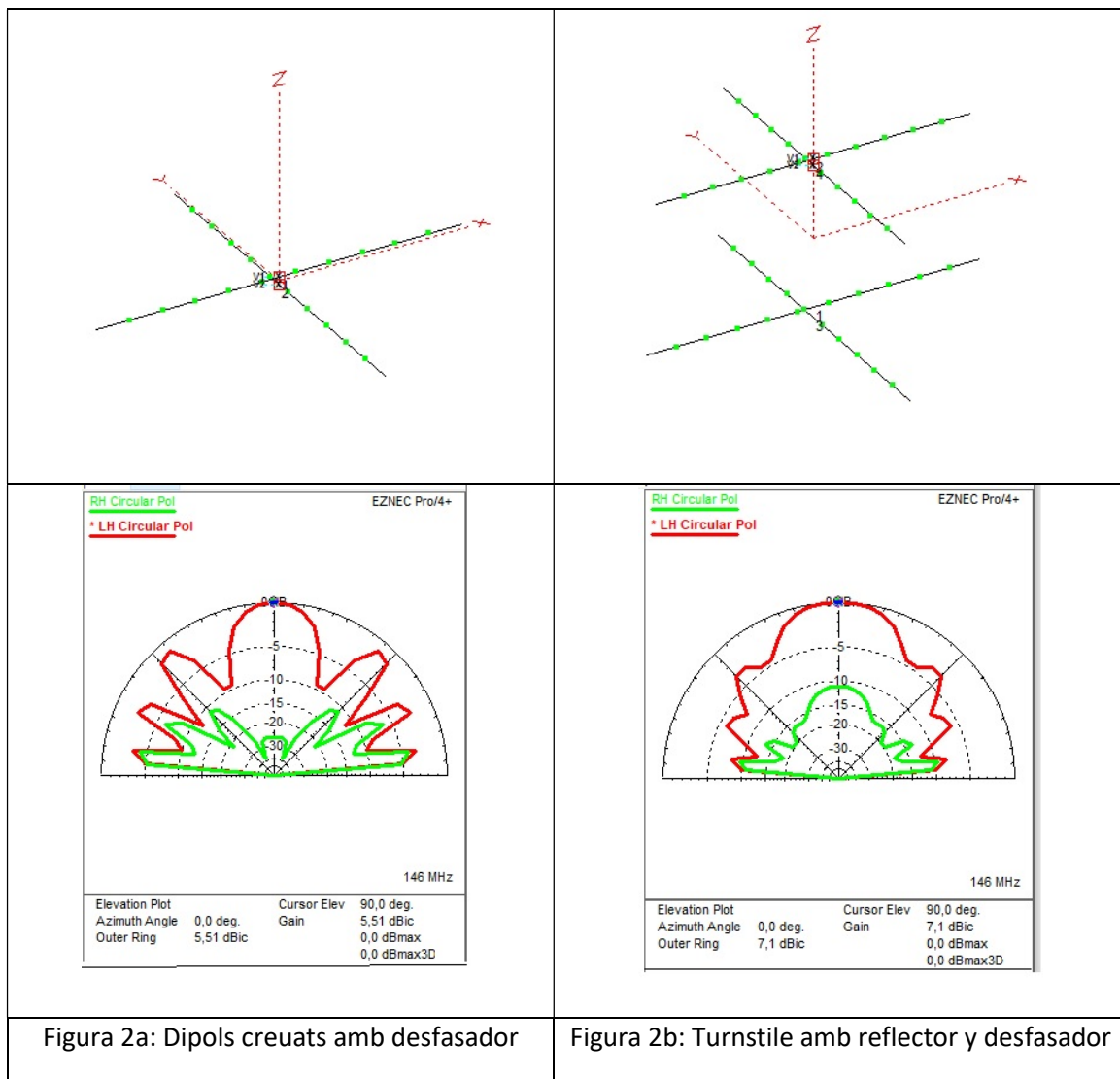
																																																						
Figura 1a: EggBeater (Batedora d'ous)	Figura 1b: Quadrifiliar helicoïdal QFH (2 x 1λ)	Figura 1c: Lindenblad LBLAD-600																																																				
 <table><tr><td colspan="2">EZNEC Pro/4+</td></tr><tr><td colspan="2">* RH Circular Pol</td></tr><tr><td colspan="2">* LH Circular Pol</td></tr><tr><td colspan="2">145 MHz</td></tr><tr><td>Elevation Plot</td><td>Cursor Elev</td></tr><tr><td>Azimuth Angle 115.0 deg</td><td>Gain 6.47 dBic</td></tr><tr><td>Outer Ring 6.53 dBic</td><td>-0.06 dBmax</td></tr><tr><td></td><td>-0.06 dBmax3D</td></tr></table>	EZNEC Pro/4+		* RH Circular Pol		* LH Circular Pol		145 MHz		Elevation Plot	Cursor Elev	Azimuth Angle 115.0 deg	Gain 6.47 dBic	Outer Ring 6.53 dBic	-0.06 dBmax		-0.06 dBmax3D	 <table><tr><td colspan="2">EZNEC Pro/4+</td></tr><tr><td colspan="2">* RH Circular Pol</td></tr><tr><td colspan="2">* LH Circular Pol</td></tr><tr><td colspan="2">437 MHz</td></tr><tr><td>Elevation Plot</td><td>Cursor Elev</td></tr><tr><td>Azimuth Angle 62.5 deg</td><td>Gain 5.0 deg</td></tr><tr><td>Outer Ring 7.56 dBic</td><td>7.56 dBic</td></tr><tr><td></td><td>0.0 dBmax</td></tr><tr><td></td><td>0.0 dBmax3D</td></tr></table>	EZNEC Pro/4+		* RH Circular Pol		* LH Circular Pol		437 MHz		Elevation Plot	Cursor Elev	Azimuth Angle 62.5 deg	Gain 5.0 deg	Outer Ring 7.56 dBic	7.56 dBic		0.0 dBmax		0.0 dBmax3D	 <table><tr><td colspan="2">EZNEC Pro/4+</td></tr><tr><td colspan="2">* RH Circular Pol</td></tr><tr><td colspan="2">* LH Circular Pol</td></tr><tr><td colspan="2">145 MHz</td></tr><tr><td>Elevation Plot</td><td>Cursor Elev</td></tr><tr><td>Azimuth Angle 275.0 deg</td><td>Gain 10.0 deg</td></tr><tr><td>Outer Ring 4.86 dBic</td><td>4.46 dBic</td></tr><tr><td></td><td>0.0 dBmax</td></tr><tr><td></td><td>-0.4 dBmax3D</td></tr></table>	EZNEC Pro/4+		* RH Circular Pol		* LH Circular Pol		145 MHz		Elevation Plot	Cursor Elev	Azimuth Angle 275.0 deg	Gain 10.0 deg	Outer Ring 4.86 dBic	4.46 dBic		0.0 dBmax		-0.4 dBmax3D
EZNEC Pro/4+																																																						
* RH Circular Pol																																																						
* LH Circular Pol																																																						
145 MHz																																																						
Elevation Plot	Cursor Elev																																																					
Azimuth Angle 115.0 deg	Gain 6.47 dBic																																																					
Outer Ring 6.53 dBic	-0.06 dBmax																																																					
	-0.06 dBmax3D																																																					
EZNEC Pro/4+																																																						
* RH Circular Pol																																																						
* LH Circular Pol																																																						
437 MHz																																																						
Elevation Plot	Cursor Elev																																																					
Azimuth Angle 62.5 deg	Gain 5.0 deg																																																					
Outer Ring 7.56 dBic	7.56 dBic																																																					
	0.0 dBmax																																																					
	0.0 dBmax3D																																																					
EZNEC Pro/4+																																																						
* RH Circular Pol																																																						
* LH Circular Pol																																																						
145 MHz																																																						
Elevation Plot	Cursor Elev																																																					
Azimuth Angle 275.0 deg	Gain 10.0 deg																																																					
Outer Ring 4.86 dBic	4.46 dBic																																																					
	0.0 dBmax																																																					
	-0.4 dBmax3D																																																					

Però abans d'analitzar-les més a fons, hem d'examinar unes antenes més senzilles que encara ens poden donar alguna sorpresa agradable:

Dipols creuats i Turnstile

Comencem doncs amb l'antena bàsica de polarització circular, que consisteix en dos simples dipols creuats a 90° i alimentats amb un desfasador de coaxial també de 90° ($\lambda/4 \times F_v$) que és el que proporciona la polarització circular (figura 2a). Una variant és l'antena anomenada Turnstile que té una millora que consisteix a afegir-hi dos reflectors creuats a sota per reforçar encara més el guany vertical cap al zenit (figura 2b).

Veurem també les prestacions amb els diagrames de radiació a les figures 2a i 2b, tenint en compte que sempre situem aquestes antenes a 3 metres d'un sòl de conductivitat molt pobre, com acostuma a ser la part superior d'un edifici o de la teulada d'una casa.



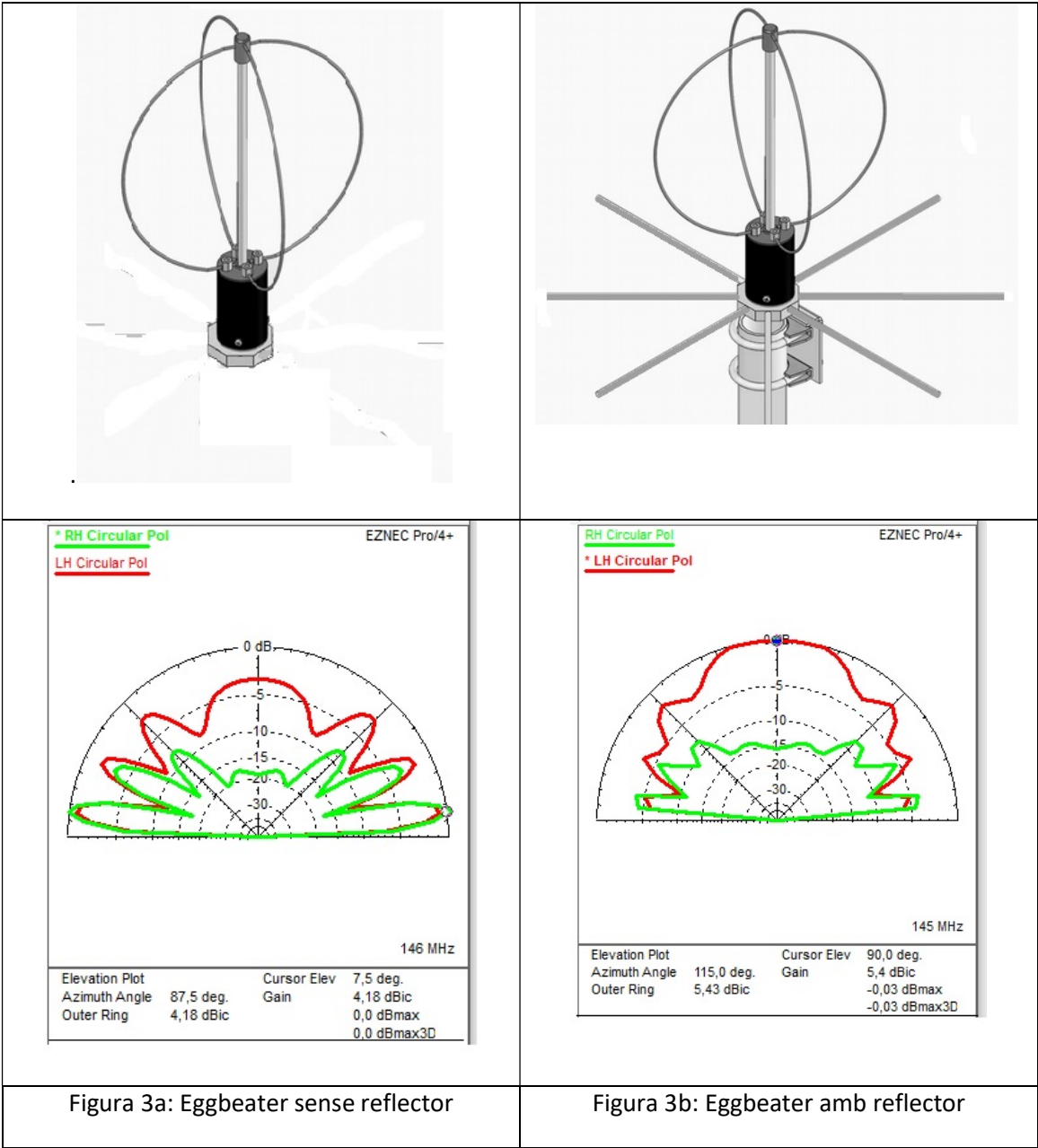
Els dos dipols creuats disparsen bé cap al zenit amb un guany de fins a 5,5 dBc i, si afegim els dos reflectors creuats a sota, fins a assolir els 7 dBc. Però aquestes dues antenes NO permeten aprofitar bé tota la durada d'una passada, ja que recordem que els LEO es queden gairebé sempre per sota dels 60° (en el 90% de les òrbites). Aquest desavantatge augmenta si hi afegim dos reflectors a sota (Turnstile) perquè augmenta el guany cap al zenit, però així encara empitjora més el guany en angles baixos per als satèl·lits per sota de 40°. Al meu parer, és clar que aquestes dues antenes no s'adapten bé a les nostres necessitats per aprofitar bé tota la projecció d'un satèl·lit LEO.

Egg-Beater

La famosa batedora d'ous seria la següent a la nostra llista d'antenes omnidireccionals amb polarització circular, ja que consisteix en dos cercles creuats amb una longitud de 1λ completa

cadascun, també alimentats amb un desfasador de 90º entre tots dos per proporcionar-los la polarització circular.

També plantejem dues variants: els 2 cèrcols sols (figura 3a) amb desfasador a 90º sense reflectors i la que porta a més dos o més reflectors a sota (figura 3b), d'una manera similar a la Turnstile.

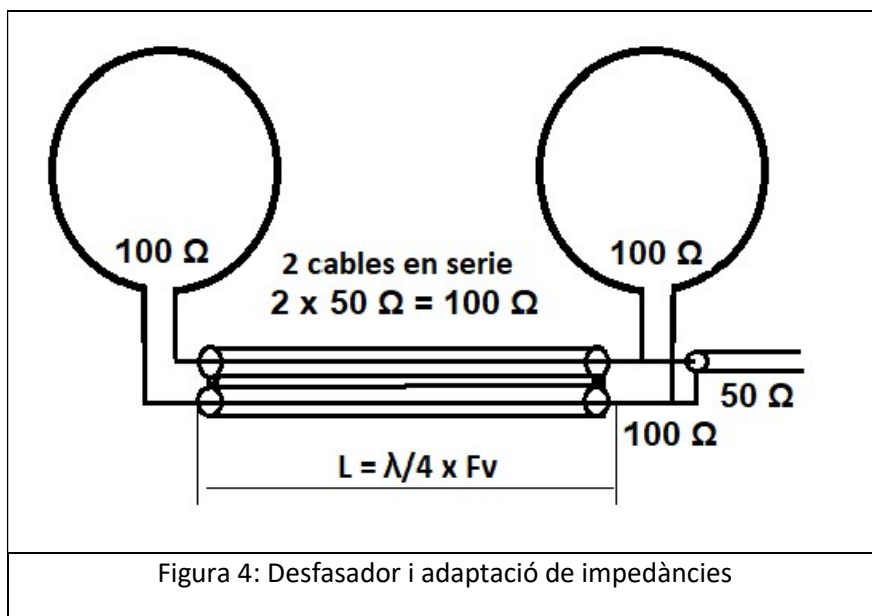


El diagrama de l'Eggbeater sense reflector (figura 6b) ens mostra un cert guany de +4,15 dBic a 7,5º d'elevació que es manté per sobre de 0 dBic al zenit, encara que amb un parell de buits molt pronunciats pel efecte sòl, però es manté força bé encara fins als 60º d'elevació. No està malament, però dóna poc guany cap a angles baixos.

De tota manera representa una petita millora respecte als dos dipòls creuats amb desfasador de les figures 2a i 2b. Quan li posem els reflectors, el guany es dispara cap al zenit com a la Turnstile i s'acosta a 0 dBic en angles per sota de 35° (figura 2b), per això sembla molt poc adequada per al nostre objectiu de disposar d'una antena que treballi bé durant el major temps possible de cada passi de satèl·lit. No sembla gaire recomanable aquesta antena omnidireccional per operar el major temps possible als LEO.

El desfasador de 90° de $\lambda/4$

Els dos cercles d' 1λ que constitueixen l'antena Eggbeater tenen cadascun una impedància d'uns 100 ohms, però com sempre volem alimentar-la amb un cable de 50 Ω . Hem d'unir els dos cercles amb un desfasador d'una longitud d'una cambra d'ona elèctrica ($\lambda/4 \times F_v$) per obtenir la polarització circular, però necessitem que el cable del desfasador tingui 100 ohms d'impedància característica, igual que un sol cercle, perquè traslladi aquesta impedància fins a l'altre cercle i, en paral·lel amb la seva alimentació, la impedància se situï al voltant de 50 Ω , tal com es mostra a la figura 4. Aquest tram de 100 Ω es realitza amb dues seccions idèntiques de la mateixa longitud de 50 Ω connectades en sèrie, és a dir, només les malles unides entre si i els dos centrals connectats als borns de cada cercle i també al coaxial en un d'ells.

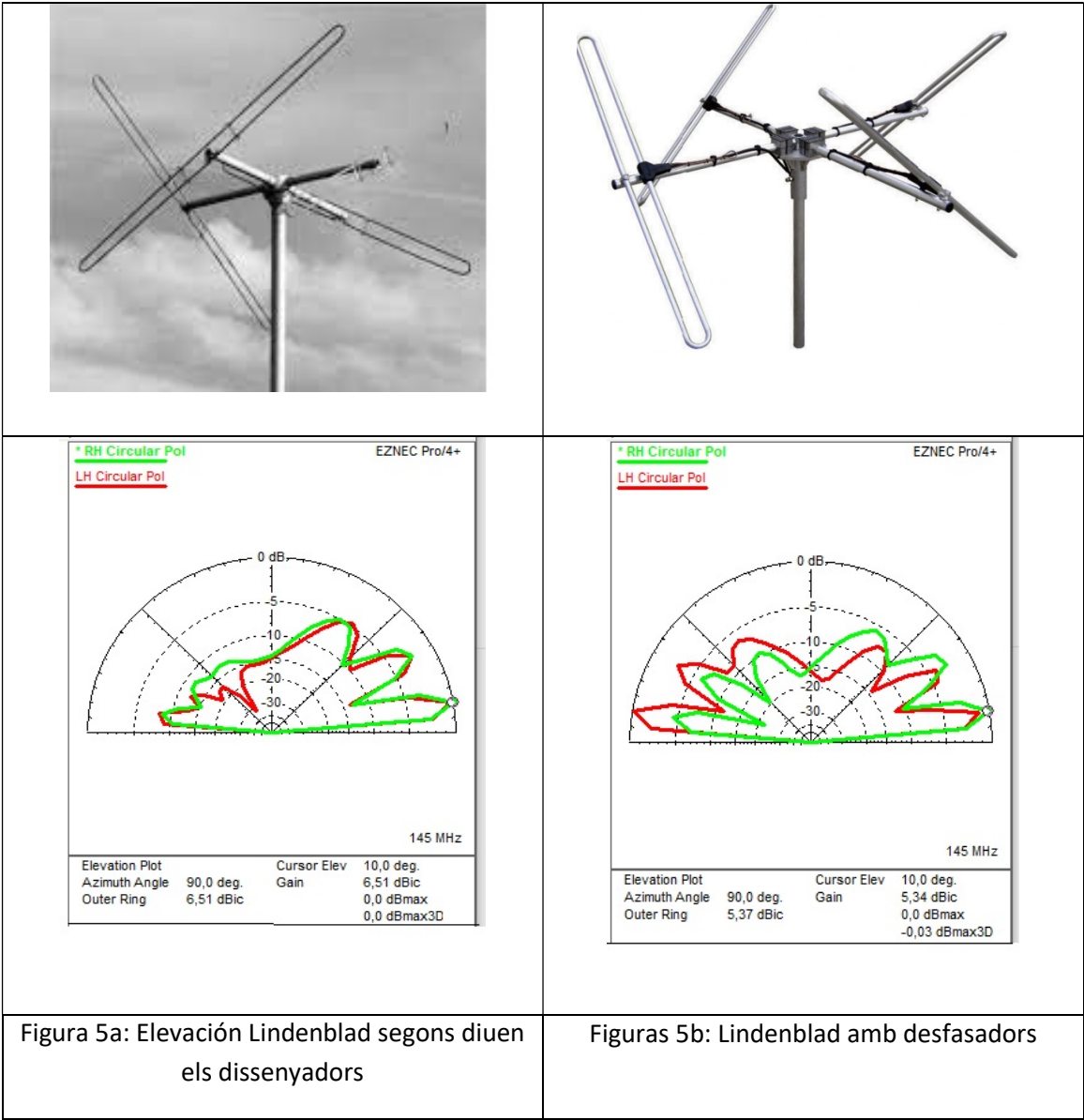


Lindenblad

No aconsegueixo entendre bé com funciona aquesta antena, de la qual diuen que proporciona polarització circular, perquè de la versió original (figura 5a) asseguren que està formada per quadre dipòls plegats inclinats a 30° i col·locats en forma de quadrat, amb totes les baixades unides entre si en paral·lel.

Quan realitzo el model (si és que el modelo bé), em surt un diagrama de radiació horrible i estranyament asimètric (figura 5a). No m'explico que no porti incorporada cap desfasador per aconseguir la polarització circular. Si no duu desfasadors, d'on surt la polarització circular? De la inclinació? Ho dubto.

Per obtenir una polarització circular, segons la meua opinió, cal introduir d'alguna manera un desfasador de 90° ($\lambda/4 \times F_v$) entre cada parell d'antenes encarades i l'altre parell perpendicular. A més, també em sembla més lògic invertir la polaritat de les connexions entre les dues antenes oposades i invertir la connexió per desfassar-les 180° (figura 5b). Amb aquestes dues modificacions, el diagrama de radiació que aconseguim és més acceptable quant a la polarització circular (figura 5b) i almenys ja és més simètric i amb molta millor distribució cap als angles de radiació que ens interessen per sota de 60° , i amb un buit pronunciat cap al zenit que arriba als -15 dB, i una xifra superior a la desitjada.

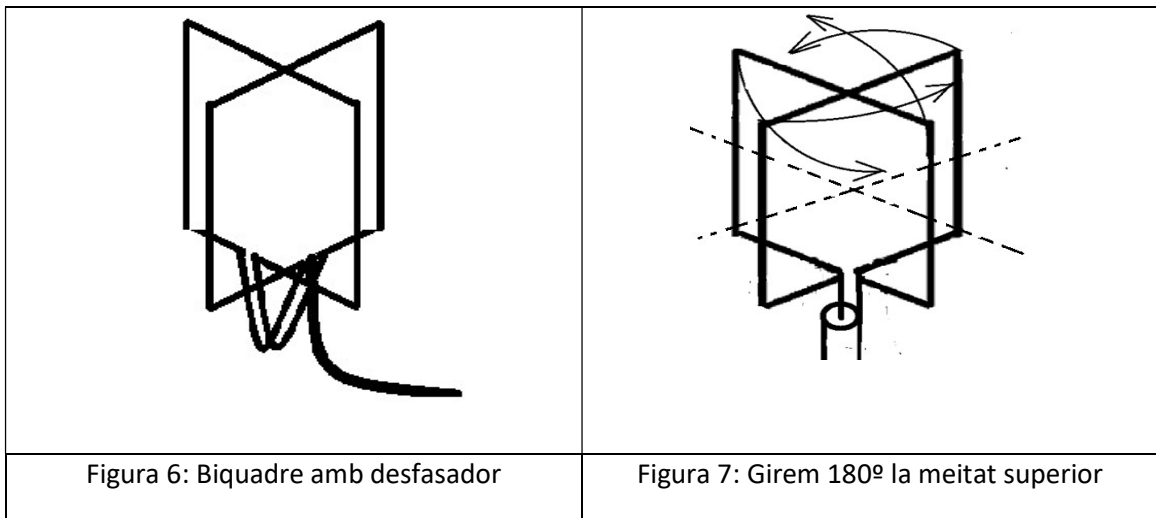


Misteriosament en la versió amb totes les quatre antenes connectades en paral·lel, i de la qual tots els dissenys que he trobat a Internet sostenen que és l'autèntica, apareix una asimetria que dóna grima (figura 5a) i l'omnidireccionalitat hi brilla per la seva absència, mentre que en

la meua versió amb desfasadors afegits és molt més simètrica i omnidireccional, encara que amb una mica menys de guany a 10° d'elevació, però força acceptable (figura 5b). Un altre defecte d'aquesta antena és que és més complicada de fer mecànicament, perquè necessitem quatre suports horitzontals, un per a cada dipol plegat, problema que no teníem a les anteriors.

De l'Eggbeater a la biquadre ia la QFH o quadrifiliar

Hem vist que per a una cobertura més uniforme de la projecció, ens convé més l'Eggbeater sense reflectors, però no se'ns podria acudir que, en comptes de cercles perfectes i bonics, la batidora d'ou la podríem fer també amb quadrats i fins i tot amb rectangles, formant una antena que podríem anomenar "biquadre" (figura 6).



Però també podem aconseguir la polarització circular per altres mitjans que no sigui el clàssic desfasador de $\lambda/4$. Algú va tenir l'ocurrència de realitzar-la per mitjans físics, ni més ni menys que girant i recargolant 180° la meitat superior de l'antena tal com s'intenta indicar a la figura 7, passant a convertir-se en l'antena QFH o quadrifiliar (figura 8), forçant el gir de l'ona radiada amb un gir físic de 180° , igual que el que es produeix en qualsevol antena helicoidal de polarització circular.

La QFH o quadrifiliar helicoidal

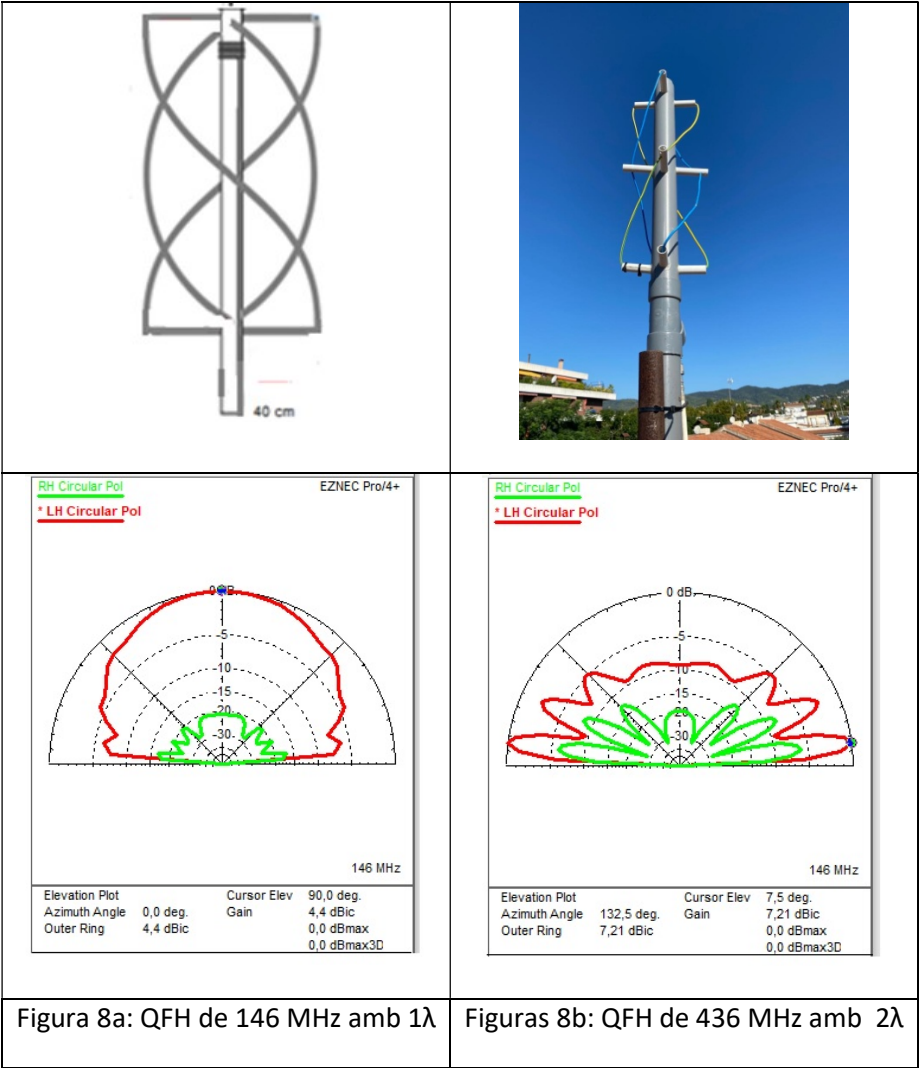
La QFH (Quadrifiliar Helicoide) és, per tant, una antena amb dos quadres retorçats helicoidalment, la qual, a primera vista, sembla molt complexa per la visió dels 4 cables corbats que la formen, però si te'ls mires acuradament, tal com hem demostrat, no són més que dos requadres d'una longitud d'ona completa, però retorçats 180° per obtenir la polarització circular de manera física (figures 8a i 8b), tal com es fa en totes les antenes helicoidals.

Els dos rectangles recargolats 180° ara es connecten en paral·lel perquè ja no necessitem el cable desfasador, perquè el gir ho aconseguim físicament, de manera que les impedàncies dels dos quadres d'uns 100Ω connectades en paral·lel s'adaptin molt bé als 50Ω del coaxial.

Cada requadre té una longitud d'ona (1λ) completa (com a les Eggbeater), però se'm va acudir augmentar la longitud de cada rectangle recargolat, per aconseguir més guany cap a l'horitzó, de manera que es produís un efecte semblant al que es aconsegueix amb les col·lineals, les quals reforcen la seva radiació cap a l'horitzó com més les allarguem, tal com ja hem vist anteriorment.

Requadres de 2λ

En augmentar la longitud dels trams verticals radiants d'una antena col·lineal, millorem el guany cap a l'horitzó, tot i mantenir la polarització circular. He provat amb longituds de 2λ per requadre i la idea sembla donar bon resultat (vegeu la figura 8b) amb una antena de 432), de la mateixa manera que amb més longitud augmenta el guany de les col·lineals, però ara amb una antena que té polarització circular, que és el que preteníem. Amb la QFH de 1λ (figura 8a) ens passa una cosa molt semblant que amb l'Eggbeater: li falta guany cap a angles baixos i llença molt bé cap al zenit (figura 8b).



Com es veu a la foto de la figura 8b, no cal que els costats dels requadres radiants siguin corbs per aconseguir la polarització helicoïdal. L'antena per a 436 MHz de $2 \times 2\lambda$ (figura 8b) me la va construir Agustín, EA3AOG, i és una mica més estreta i allargada per aconseguir més guany cap a l'horitzó. El resultat és que proporciona 7,2 dBic entre 5 i 10 °. Els buits que es formen al diagrama de radiació són deguts a l'efecte de la reflexió al sòl, però a la pràctica segur que no seran tan profunds si el sòl és molt mal conductor, com sol ser habitual a les nostres edificacions.

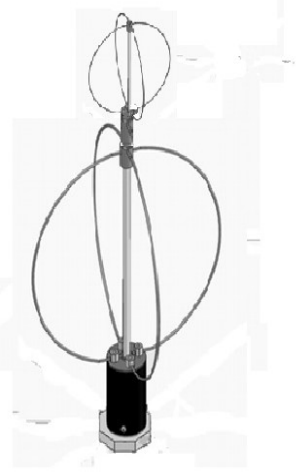
A la figura 8b s'observa que l'antena QFH d'EA3AOG disposa d'un eix vertical de suport amb tub de PVC amb tres plans de tubets perpendiculars i creuats a 90° pels quals es passen els cables dels dos requadres suportats pels tubets travessers de PVC també, els quals es distingeixen molt bé, ja que estan fets amb cable elèctric de 2,5 mm² de secció, un recobert de plàstic groc i l'altre amb cable de plàstic blau. Els dos quadres estan connectats en paral·lel a la base i per la part superior es creuen sense contacte entre ells. Resulta relativament fàcil de construir sense que això suposi treure mèrits a l'Agustín, a qui agraeixo molt la seva gran feina amb ella.

La QFH és la meva guanyadora favorita

La nostra primera experiència amb una QFH va ser el contacte amb l'astronauta Mark van der Heyden a l'Estació Espacial Internacional des de la UPC de Castelldefels l'any 2015. Realment vam fer el contacte amb una antena Yagi de 144 de 3 metres de biga de suport i 11 elements i amb un ICOM IC-910, però l'antena QFH de respatller de 144 amb 2 rectangles retorçats de $2 \times 1\lambda$, construïda per Josep Maria Gaya, EA3FUZ, connectada a un altre IC-910, de respatller, va estar rebent a l'estació espacial a fons d'escala durant tot el passi. Això és lògic si recordem que la ISS transmet amb un Kenwood de 20 W, gairebé exactament igual que l'IC-910 connectat a la Yagi de 144 controlada per l'ordinador. Va ser impactant veure constantment l'agulla del S-meter al fons de l'escala de l'IC-910 de respatller amb la QFH. Així que aquesta antena la considero la guanyadora en aquesta competició entre antenes omnidireccionals per a satèl·lits.

Muntatge per a dues bandes

L'avantatge de les antenes amb eix central de suport com l'Eggbeater (figura 9) i la QFH (10) és que és molt fàcil muntar les dues antenes per a VHF i UHF en un sol tub vertical de suport, i no et veus obligat a col·locar les dues antenes en un suport transversal, ben separades per disminuir les interaccions entre elles. Això simplifica molt la instal·lació i permet operar amb èxit en satèl·lits LEO a FT4 i probablement també a SSB i CW, encara que per aconseguir alguna cosa positiva en aquestes dues últimes modalitats serà millor que el que ens estalviem en rotors i directives ho invertim en preamplificadors i amplificadors lineals.

	
Figura 9: Eggbeater per a VHF+UHF	Figura 10: QFH per a VHF+UHF

Els guanys de les antenes omnidireccionals, que poden ser perfectes per en FT4, poden resultar massa justetes per operar en SSB, però seran sempre un gran problema per operar en un canal de FM, perquè als repetidors monocanals impera la llei del més fort (les directives), a causa de l'efecte captura de la FM que només repeteix al que arriba més fort.

Però no hem de descartar que s'aconsegueixi algun contacte amb elles en FM en algun moment de tranquil·litat al repetidor de la ISS. L'altra nit tota Europa estava dormint i només estàvem actives dues estacions: EA7JHK, Àngel, i un servidor, operant solets al repetidor de la ISS i hauríem pogut explicar-nos tota la nostra vida durant el temps d'11 minuts que va durar el passí. Així que no perdeu l'esperança i no deixeu de provar-ho.

CAPÍTOL 9: ALTRES ELEMENTS NECESSARIS

Passem llista a uns quants elements més que necessitem per operar còmodament en satèl·lits LEO en les dues modalitats V/U i U/V

Preamplificador d'antena d'UHF gairebé imprescindible

Són imprescindibles els preamplificadors d'antena? Com a norma general, si disposes d'una baixada inferior a 10 metres de longitud en 144, i fins i tot si m'apures una amb menys de 15 metres amb un cable coaxial de baixes pèrdues, l'atenuació del coaxial a recepció als 2 m encara és molt petita (≈ 1 dB) i no val la pena col·locar un preamplificador a l'antena si tens un SDR amb filtres i bona sensibilitat, però l'hauries de posar de totes totes si tens simplement un RTL-2832, perquè se saturarà amb la transmissió de 435 MHz. En UHF, ja cal pensar molt seriosament que gairebé sempre serà convenient posar un preamplificador, sigui quina sigui la longitud de la teva baixada.

Per posar un exemple: un cable RG-213 amb 10 metres de longitud i una ROE una mica desfavorable de 1,5:1, en 144 només es perden 0,95 dB, un valor prou petit perquè sigui factible la recepció de satèl·lits amb una Yagi de mida moderada, fins i tot de tan sols 3 elements. Però, a partir de baixades amb longituds superiors a 30 metres, tindrem una pèrdua superior a 3 dB, xifra que comença a ser ja significativa, perquè els senyals de SSB disponibles al nostre receptor no superen una relació S/N de 10-12 dB en els millors moments.

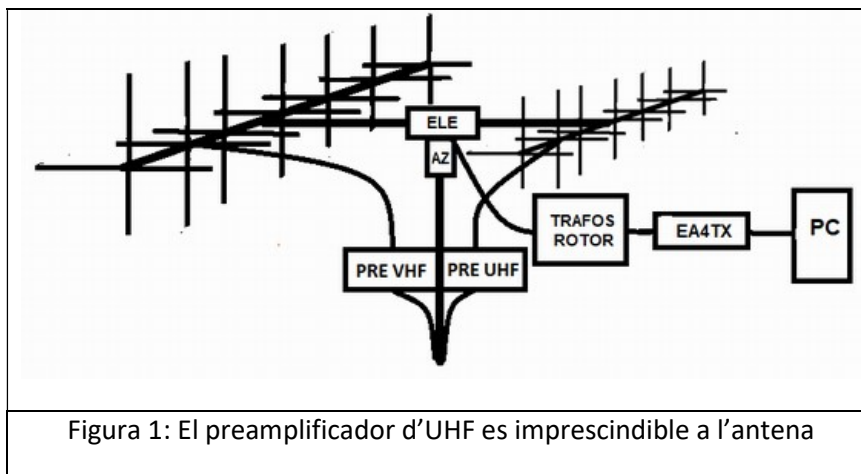


Figura 1: El preamplificador d'UHF es imprescindible a l'antena

I aquestes xifres s'agregen als 435 MHz, perquè les pèrdues al coaxial almenys es doblen. Per posar un exemple, amb 10 m de cable RG-213 a 435 MHz i amb una ROE de tan sols 1,2 (que és fàcil assolir només pels connectors), les pèrdues ja arriben gairebé al doble o sigui uns 1,55 dB. Si la longitud del coaxial és més gran i ja arriba als 30 m, les pèrdues al cable ja seran de gairebé -5 dB, unes pèrdues notables que dificultaran la recepció si no disposem d'un preamplificador que les divideixi per 10 amb el seu guany de + 20 dB.

Així que és gairebé sempre imprescindible la instal·lació d'un preamplificador d'UHF (figura 12), perquè les pèrdues en qualsevol coaxial de baixada, per molt bona que sigui la qualitat, si

la longitud supera els 10 metres (-1,5 dB amb RG -213), les pèrdues al coaxial d'UHF solen ser excessives i tots aquests decibels d'atenuació es converteixen en més nivell de soroll a la recepció.

Com que la FM és molt senyoreta i necessita un mínim de +12 dB de relació senyal/soroll per aconseguir el que s'anomena "*full-quieting*" (silenciat total del soroll de fons), aquestes pèrdues poden arribar a dificultar-nos la recepció i fins i tot a deixar-nos a dues espelmes. Això implica que al UHF, en gairebé qualsevol instal·lació on tinguem una longitud de coaxial més llarga de 10 metres, sigui molt aconsellable la col·locació (en l'antena) d'un preamplificador d'UHF que millori el senyal rebut per l'antena, abans de patir les pèrdues del coaxial, si volem que ens arribi suficient senyal per demodular la FM amb èxit.

Preamplificadors sempre amb VOX

Per descomptat, en el cas de necessitar preamplificadors d'antena, com les potències recomanades per a satèl·lits són relativament baixes (10-50 W), no cal la commutació remota RX/TX dels preamplificadors mitjançant seqüenciadors. És suficient escollir-los amb la commutació RX/TX automàtica, accionada per la pròpia RF, a semblança del sistema d'àudio VOX (*Voice Operated TX*), perquè detectin la transmissió de RF i s'accionin els relés que retiren el preamplificador automàticament de la línia de transmissió quan emetem, per permetre el pas directe de la RF fins a l'antena, funció que generalment fan sense problemes la majoria de preamplificadors amb VOX fins a potències de 200 W.

Alimentació pel cable amb un divisor (bypass)

La majoria de preamplificadors d'antena també suporten alimentació pel cable central del coaxial de manera que no calgui alimentar-los externament, però això exigeix intercalar a la sortida un divisor de CC i RF (bypass) que permeti injectar els +12 V del preamplificador a el coaxial, si l'equip que utilitzem no disposa del sistema propi per alimentar el preamplificador pel centre de les sortides d'antenes.

Alternativament, si utilitzem rotors i arriba fins a l'antena un cable de fils múltiples per controlar-los i alimentar-los, serà molt fàcil fer servir 2 fils sobrants, un per a cada preamplificador pels quals portarem els 12 V a l'antena a través d'1 o 2 interruptors amb els que sempre podrem comprovar si estan funcionant o no correctament.

I si es produeix la sobrecàrrega de l'SDR?

Alguns SDR barats, com els basats en el RTL-2832 i similars, no disposen de filtres passa banda d'entrada, per la qual cosa és possible que se sobrecarreguin i es bloquegi la recepció en 144, quan transmetem simultàniament per 432 per una altra antena paral·lela o viceversa. Aquest problema hauria de ser resolt mitjançant un bon filtre de recepció passa banda que deixés passar només els senyals de 144 que volem rebre.

Si disposeu d'un SDR més sofisticat (i car), com ara el Funcube PRO+ o el SRSP1 de SDRPlay o altres amb filtres passa banda, el més probable és que no necessiteu cap filtrat addicional, perquè seran suficients els filtres passa banda interns. Però si experimentes problemes de sobrecàrrega al teu SDR quan operes en banda creuada (el que notaràs immediatament

perquè es redueix el nivell del soroll en transmetre per una altra banda), pots fer el següent: col·locar un filtre que deixi passar només els 144 MHz en recepció davant del SDR.

Però si utilitzes un preamplificador d'antena, a causa de la major longitud de les baixades coaxials, és molt probable que tinguis problemes de sobrecàrrega, tot i utilitzar un receptor SDR més car, necessitaràs un filtre davant del preamplificador, si aquest és el teu cas.

El filtre més barat: un duplexor

Els filtres passa banda de VHF i UHF resulten una mica cars, prop dels 200 euros, però hi ha una solució molt més econòmica i que consisteix a utilitzar un duplexor, dels quals es venen per utilitzar dues antenes de V i U amb una mateixa baixada o una antena bibanda amb un equip amb entrades separades per a VHF i UHF.

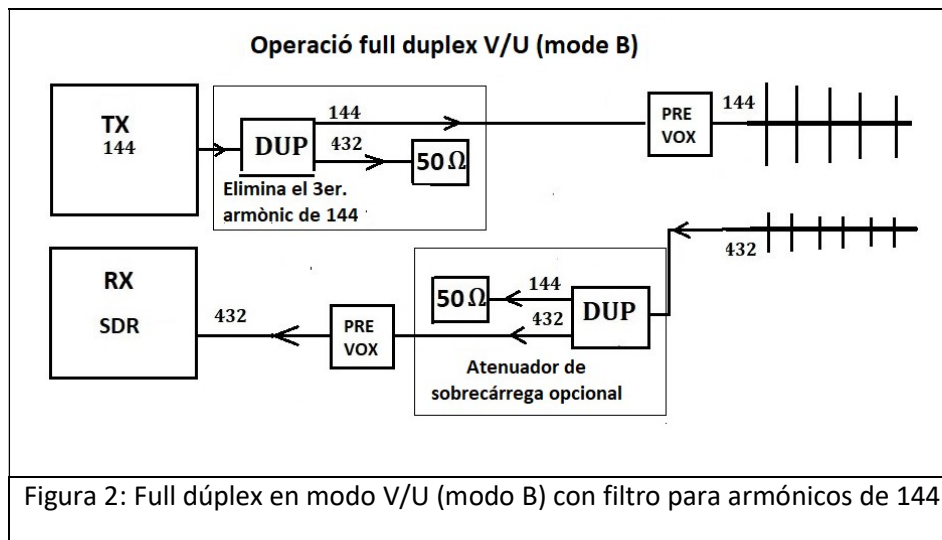
Diuen que un bon duplexor V/U proporciona una separació mínima de fins a -50 dB i, per descomptat, la majoria suporta també potències de transmissió fins als 200 W. Per assegurar-nos que qualsevol senyal de 432 no viatja amunt i avall per una total desadaptació d'impedàncies, el millor que podem fer és col·locar una resistència terminal de 50 ohms que absorbeixi el senyal de 435 captat de l'antena veïna. Per uns 50 euros, hem resolt el problema de la sobrecàrrega a l'altra banda

L'operació U/V es complica per harmònics de 144

La configuració per a l'operació *full-duplex* en satèl·lits equipats amb un transponedor oposat, és a dir del tipus U/V o mode B (RX a U i TX a V)) és una mica més complicada que la V/U de la figura 1, com s'observa ara a la figura 2.

Malauradament, un transmissor de 144 MHz té el mal costum de generar harmònics- Segons la normativa, teòricament el tercer harmònic hauria d'estar -60 dB per sota de la portadora de 145 MHz. Encara que el que quedi sigui una potència mínima, de vegades passa aquesta xifra no sempre es compleix exactament, malgrat les afirmacions del fabricant. I per si no n'hi hagués prou, precisament el tercer harmònic cau molt a prop de l'altra banda en què volem rebre els satèl·lits amb l'SDR ($3 \times 146 = 438$ Mhz).

A més, encara que sigui d'un nivell molt baix, aquest tercer harmònic de 438 MHz és ideal perquè el capti l'antena veïna d'UHF, alhora que el senyal que volem rebre. Però encara pot ser pitjor: moltes vegades fins i tot disposem d'un preamplificador en 435 MHz que amplifica tot allò que entra i, per tant, és molt possible que se'ns saturi la recepció de l'SDR en UHF, quan transmetem en V. Males perspectives. Hem d'atenuar aquest tercer harmònic com sigui, especialment si fem servir preamplificadors (figura 2).



Un altre duplexor acudeix a la nostra ajuda

Com ja hem comentat, un duplexor és el filtre passa baixos més barat que podem trobar per una mica menys de 50 euros, i només hem de col·locar un altre duplexor a la sortida del transmissor de 145 MHz, de manera que el tercer harmònic ($145 \times 3 = 435$) es desviï i el derivi cap a una resistència de càrrega de 50 ohms, que l'absorbeixi, sense que necessiti gairebé dissipar potència.

Si és cert que el tercer harmònic (435) està almenys a -50 dB per sota de la potència de la portadora de 145 Mhz, només hauria de haver de suportar com a molt de 0,1 a 1 mW, especialment si resistim la temptació d'augmentar la potència fins a 100 W, potència que són capaços de donar molts transceptors de 144, com ara el TS-2000.

També aquí, dit sigui de pas, podem col·locar opcionalment a la recepció un altre duplexor per disminuir la sobrecàrrega del preamplificador i del SDR, si aquest receptor SDR és un dels barats i no disposa de filtres propis passa banda (Figura 2) i si comprovem que se satura i disminueix el senyal de 435 quan transmetem als 144.

L'arxiu DOPPLER.SQF del SatPC32

Per calcular el Doppler, el programa SatPC32 necessita disposar d'un arxiu de configuració que contingui totes les freqüències de tots els satèl·lits, concretament el fitxer DOPPLER.SQF, on es troben llistades tant les freqüències de transmissió i de recepció de tots els satèl·lits que desitgem treballar una línia per a cada modalitat d'operació del satèl·lit. En realitat aquest és un fitxer de text pla, és a dir que equival a un arxiu de text amb l'extensió <.txt>, encara que porti col·locada una extensió <.sqf>. I aquest arxiu es troba en un lloc molt curiós del disc dur del PC amb Windows 10, que costa una mica de trobar i per això ho comento aquí. El lloc on es troba és:

Disc C:\ -> Usuaris -> "nom usuari" -> AppData -> Roaming -> SatPC32 -> DOPPLER.SQF

Si al vostre PC no apareix la carpeta AppData, no desesperis perquè has de seguir les instruccions de la Figura 3 per fer-la aparèixer de totes maneres..

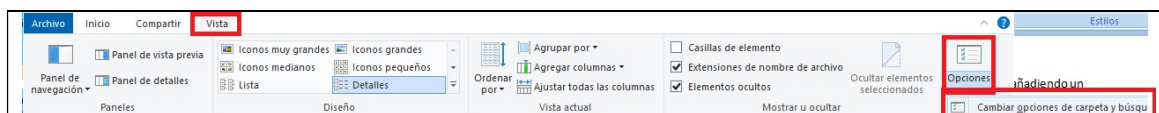


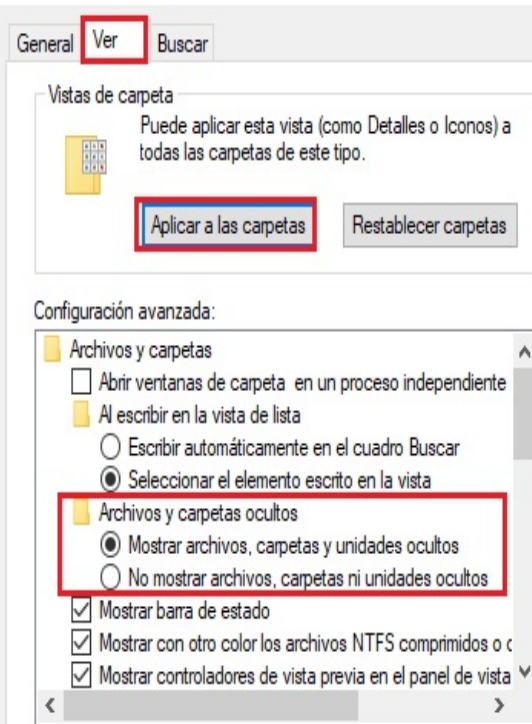
Figura 3

Si no apareix la carpeta AppData on us indico, heu de canviar les opcions de carpeta, perquè el Windows 10 no us oculti les carpetes del sistema i puguis veure la carpeta AppData.

Heu d'activar la pestanya "Vista" de les "Opciones de carpeta" (11a) i cercar al costat dret "Opciones" per allà escollir "Canviar opcions de carpeta i cerca" (11b).

Després allà (11b) has d'escollir la solapa "Veure". Després canviar l'opció "Mostrar fitxers, carpetes i unitats ocultes" i finalment clicar sobre "Aplicar a las carpetas".

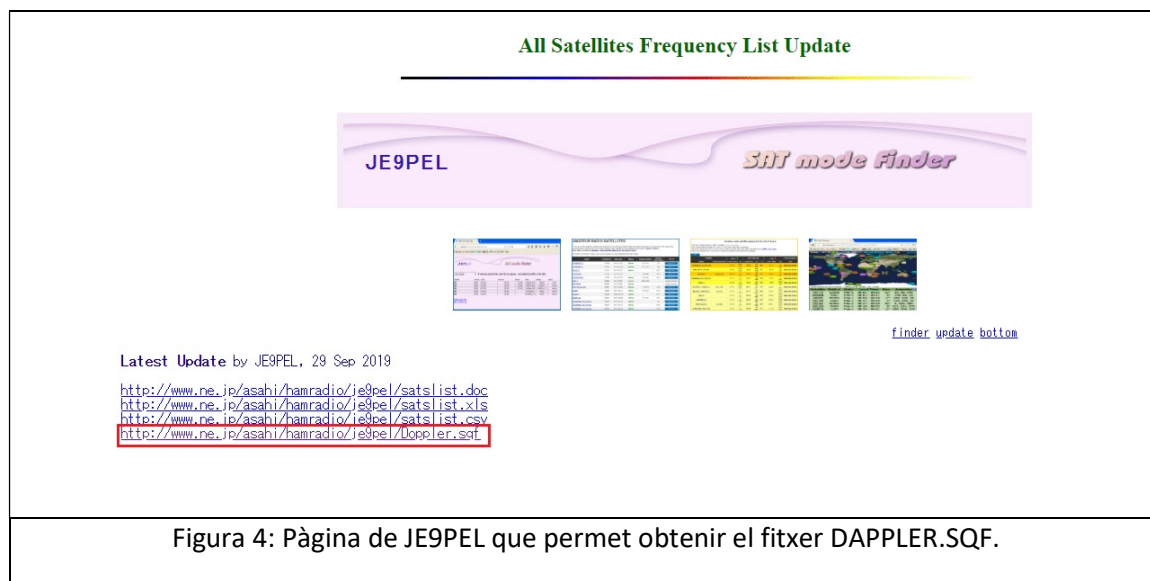
Opciones de carpeta



Arxiu DOPPLER.SQF posat al dia

Per desgràcia, l'arxiu original DOPPLER.SQF que ha de contenir totes les freqüències de cadascun dels satèl·lits i que ve inclòs amb el programa SatPc32, encara que sigui la darrera versió, no porta les freqüències dels nous satèl·lits encara no llançats, de forma que t'haràs de buscar la vida per afegir a aquest arxiu les freqüències de tots els nous llançaments que t'interessen.

La bona notícia és que, encara que no ho havia descobert fins ara, resulta que a la pàgina d'AMSAT (<http://www.amsat.org>) a la solapa "**Satellites Info -> Communications Satellites**" una ànima caritativa, un japonès, JE9PEL, que manté al dia un fitxer actualitzat i et permet l'opció d'obtenir un fitxer DOPPLER.SQF que conté TOTES les freqüències de TOTS ELS SATÈL·LITS posats al dia i que, per a la meua desesperació, no havia descobert fins ara (figura 4) perquè es trobava al final de tot de la pàgina web, a la qual mai no havia arribat. Per veure'l, has d'obrir la web: <http://www.ne.jp/asahi/hamradio/je9pel/Doppler.sqf>.



Encara que no és un fitxer descarrega-les, res més fàcil que seleccionar i copiar tot el text, enganxar-lo en una nova pàgina en blanc del programa Wordpad de Windows, perquè no li afegeixi caràcters de format i després gravar-lo al lloc esmentat, assegurant-se que té el nom correcte, és a dir nom <Doppler> i canviar-li l'extensió <.txt> pro una nova que posi <.sqf>.

Calibratge inicial amb el SatPC32

Encara que les freqüències de l'arxiu Doppler.SQF siguin força precises, sempre cal fer un calibratge inicial al primer minut del passi del satèl·lit per ajustar les desviacions que s'hagin produït a la freqüència del satèl·lit, deguts a canvis de temperatura que poden ser considerables si el satèl·lit està il·luminat o ve de la foscó d'un eclipsi.

Per al calibratge inicial de la nostra freqüència exacta de sortida al satèl·lit, el SatPC32 disposa de tota una sèrie de requadres que et permeten corregir ja sigui la teva freqüència de transmissió fins que t'escoltis bé a tu mateix, o bé canviar la teva freqüència de recepció per que et puguis sintonitzar on has descobert que surts repetit sense moure el transmissor (figura 5). Escull un dels dos mètodes a conveniència per calibrar la teva pròpia escolta a la freqüència desitjada. Són els dos requadres RX o TX de la figura 5.

Xiula un parell de vegades en la freqüència d'entrada i comprova a l'espectre del teu SDR si la teva transmissió surt més amunt o més baix del previst i, en conseqüència, prem el requadre corresponent, en el marcatge amb les lletres TX, si vols corregir la teva transmissió per escoltar-te centrat sense moure el dial del receptor.

Alternativament clica als requadres retolats amb RX si el que desitges és desplaçar la recepció per col·locar el receptor a la freqüència en què apareix la teva emissió. Quan el to del teu xiulet rebut coincideixi amb el to del teu xiulet emès localment, hauràs aconseguit un calibratge perfecte per a tot aquest passi.

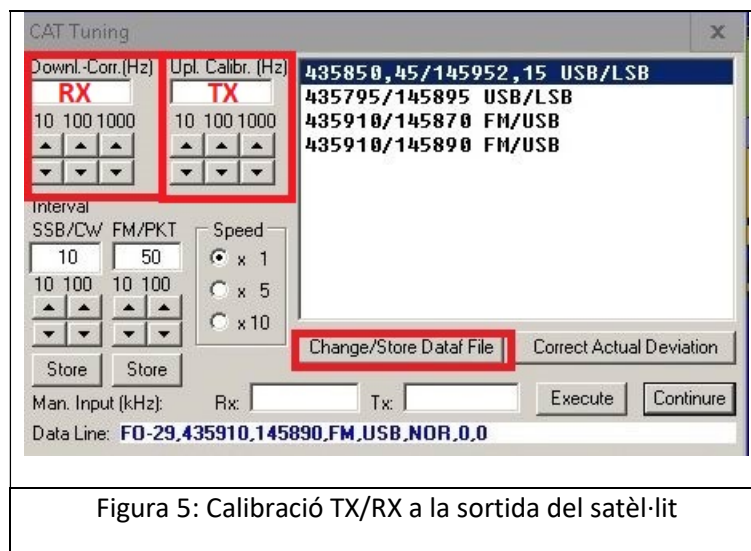


Figura 5: Calibració TX/RX a la sortida del satèl·lit

SatPC32 és el programa més flexible perquè calcula el Doppler inicialment per a les freqüències que té memoritzades per a aquest satèl·lit al fitxer DOPPLER.SQF, però si mous el dial del teu receptor per sintonitzar una altra estació a la sortida del satèl·lit, rep aquesta informació que has mogut el dial i li aplicarà automàticament la correcció necessària a la nova freqüència que hagi triat per contactar amb qualsevol estació en aquest satèl·lit en qüestió.

Equips controlables per CAT al SatPC-32

Perquè tot això funcioni bé, necessites disposar d'una bona connexió CAT entre el teu PC i el transceptor mitjançant un port sèrie COM, que modernament s'haurà realitzat mitjançant un convertidor USB/COM, però ara, per a l'SDR, també caldrà una altra connexió interna, aquest cop mitjançant un port sèrie COM virtual, que es connecti entre el programa de seguiment i el programa de funcionament del receptor SDR.

Els equips que es poden configurar en un SatPC32 són els que es mostren a la figura 6a, 6b i 6c, i que abasten gairebé tots models clàssics de les marques Yaesu, ICOM i Kenwood apropiats per a l'operació en satèl·lits. I aquestes configuracions estan disponibles per a dos equips separadament, tant pel Ràdio 1 (SDR receptor) com el Ràdio 2 (el transmissor convencional).

Figura 6a: Equipos Yaesu	Figura 6b: Equipos ICOM	Figura 6c: Equipos Kenwood

A les tres figures 7a, b i c comprovem que no està previst el control de cap receptor SDR, però tenim la sort que alguns dissenyadors de programari per a SDR, han previst que els seus equip responguin a totes les ordres CAT d'un Kenwood TS-2000, un conjunt d'ordres que han vingut a convertir-se en una mena d'estàndard, no sé ben bé perquè, potser perquè sigui un dels conjunts d'ordres més complet, com ara el programa Radio Console de Simón Brown que veurem més endavant.

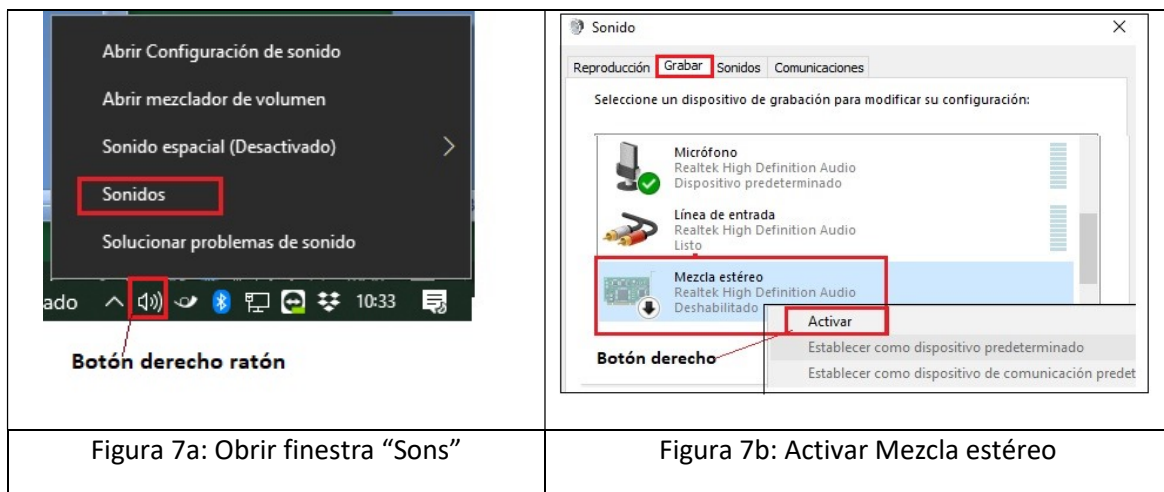
Cable virtual d'àudio del mateix Windows

Però abans hem de resoldre els problemes que se'ns presenten per decodificar maneres digitals en un PC, perquè necessitem algun mitjà per portar l'àudio als programes de decodificació i cal utilitzar un cable virtual d'àudio.

Si tenim la sort de disposar d'un PC amb un sistema d'àudio Realtek a la placa base, el nostre PC ja disposa d'una sortida digital d'àudio que rep el nom de **Mezcla Estéreo (RealTek High Definition Audio)** que cal activar al panell de control d'àudio que obre clicant amb el botó dret del ratolí sobre la icona de l'altaveu situat a la part inferior dreta de pantalla a la barra de tasques de la pantalla del Windows (figura 7a).

Allí escollirem l'opció "Sons" que ens proporcionarà tot un panell de control dels dispositius d'àudio on escollirem la solapa "Gravar" i buscarem una línia en què aparegui la Barreja Estéreo com a "Deshabilitada" (figura 7b).

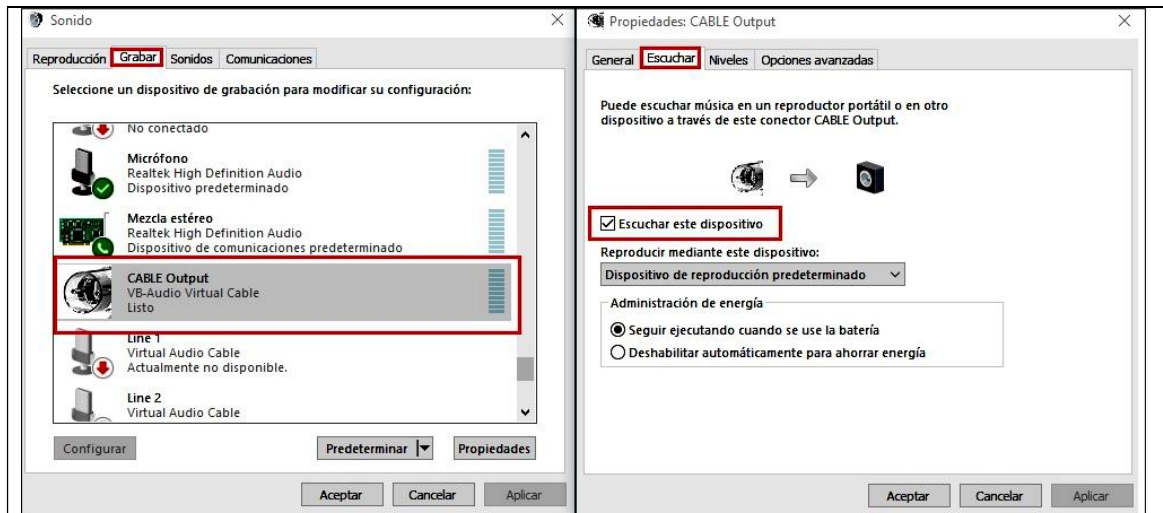
Allà de nou cliquem amb el botó dret i escollirem l'opció "Activar", i partir d'ara ja tindrem disponible un cable virtual de sortida d'àudio que ens permetrà portar l'àudio reproduït a l'altaveu al programa que desitgem, tot i que aquest dispositiu apareix al llistat dels dispositius d'entrada (Gravar).



Als programes de decodificació digital, com a dispositiu d'àudio d'entrada configurarem Mezcla estèreo (RealTek High Definition Audio) perquè s'hi reproduïen digitalment tots els sons que surten pel nostre altaveu.

Un cable virtual d'àudio adicional

Si no disposeu de la targeta de so RealTeck al nostre PC, haurem de buscar una solució per transportar l'àudio a altres programes descodificadors i un dels cables virtuals més senzills i assequibles és el VBCABLE Virtual Audio Cable que es pot descarregar de la web [VB -Audio Virtual](#) Apps i que ens servirà com a mitjà de transport digital de l'àudio fins al programa descodificador que instal·lem, de manera que, un cop instal·lat, ens apareixerà entre els dispositius d'àudio “Grabar” tal com s'observa a la figura 8a.



Figures 8a i 8b: Escoltar a l'altaveu del PC l'àudio del cable virtual d'àudio

Malauradament, en escollir com a sortida del receptor l'opció VB-CABLE Virtual Audio Cable, deixarem de sentir-se l'àudio als altaveus del nostre PC i ens quedarem a les fosques (auditivament).

La solució consisteix que hem d'obrir amb un doble clic les propietats d'aquest nou dispositiu d'àudio virtual i activar la casella “Escoltar aquest dispositiu” que apareix a l'opció Escoltar del menú que s'obre amb les Propietats de CABLE Output (figura 8b).

L'SDR controlat per CAT: el Radio Console

Tant els fabricants FlexRadio així com ApacheLabs, fabricants dels equips Flex-6000 i dels ANAN respectivament, han inclòs que els seus equips responguin a totes les ordres Kenwood estàndard, però entre els dissenyadors de programari per a SDR, destaca per les seves prestacions el programa de Simón Brown, G4ELI, l'autor del programari SDR-Radio o bé SDR Console, un programa que és capaç de manejar una llista impressionant de receptors i transceptors SDR (figura 9) amb el mateix programari.

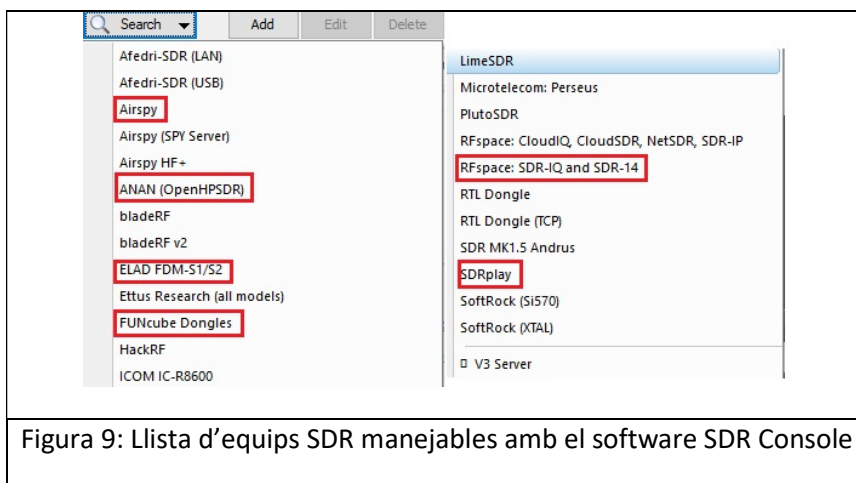


Figura 9: Llista d'equips SDR manejables amb el software SDR Console

La pàgina principal del programa la podem veure a la següent figura 10 on m'agradaria comentar un parell de trucs que aparentment dificulten el primer contacte amb aquest programa, però que són fàcils de resoldre mitjançant els requadres que s'indiquen a la pantalla, com per exemple els canvis de banda que es troben amagats a les solapes "Favourites" -> "Amateur" marcades en vermell.

A la figura 10, al requadre desplegable que es troba al costat superior dret, s'escull el dispositiu de sortida d'àudio del programa SDR, on l'opció per defecte (default) "Altaveus (Realtek High Definition Audio)", ha estat canviada al desplegable per un cable virtual CABLE Output, que haurem d'instal·lar com s'ha indicat anteriorment per poder operar amb un descodificador de modes digitals, si no disposem de la **Mezcla Estéreo (RealTeck High Definition audio)**.

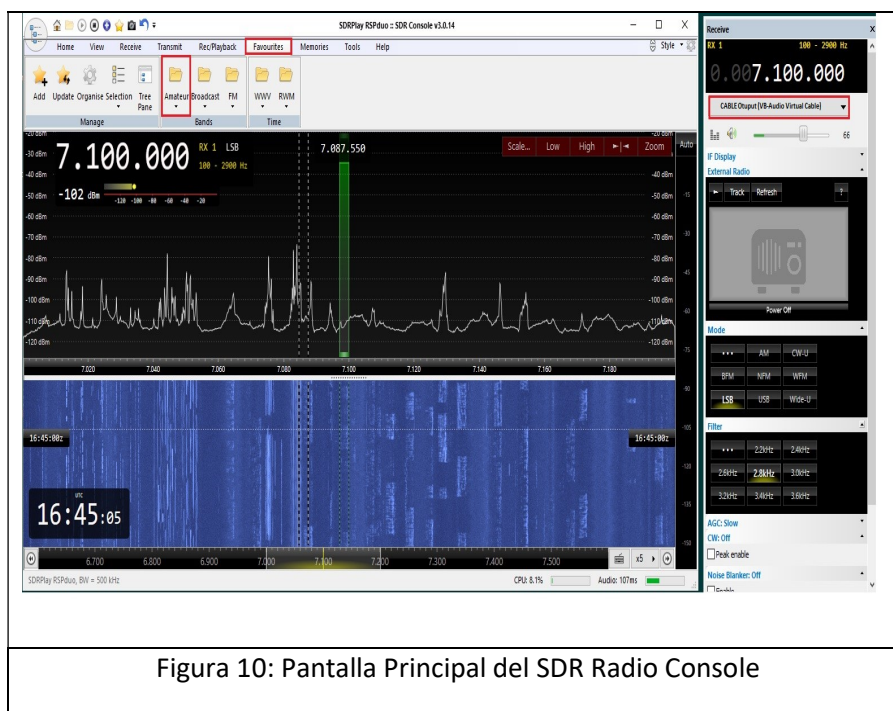


Figura 10: Pantalla Principal del SDR Radio Console

Control per CAT del Radio Console

Quant a l'accés a la configuració per corregir el Doppler al programa Ràdio Console de Simon Brown, modificant la freqüència del receptor SDR mitjançant el programa SatPC32, ens hem d'adreçar a la secció "Tools" del menú superior del programa i escollir la darrera opció: "Options". Allí s'obren tota una sèrie d'opcions on escollirem "Controller" i podrem seleccionar algun dels cables virtuals prèviament instal·lats al PC. A la imatge els cables COM virtuals que apareixen han estat creats per parells pel meu Flex-6500, dels quals escullo un parell adequat (COM 5/COM 105) i el connecto d'una banda al SatPC32 (COM5) i de l'altra escullo el COM 105 la casella del qual s'activa al SDR (figura 11) per a que sigui convenientment controlat pel SatPC32.

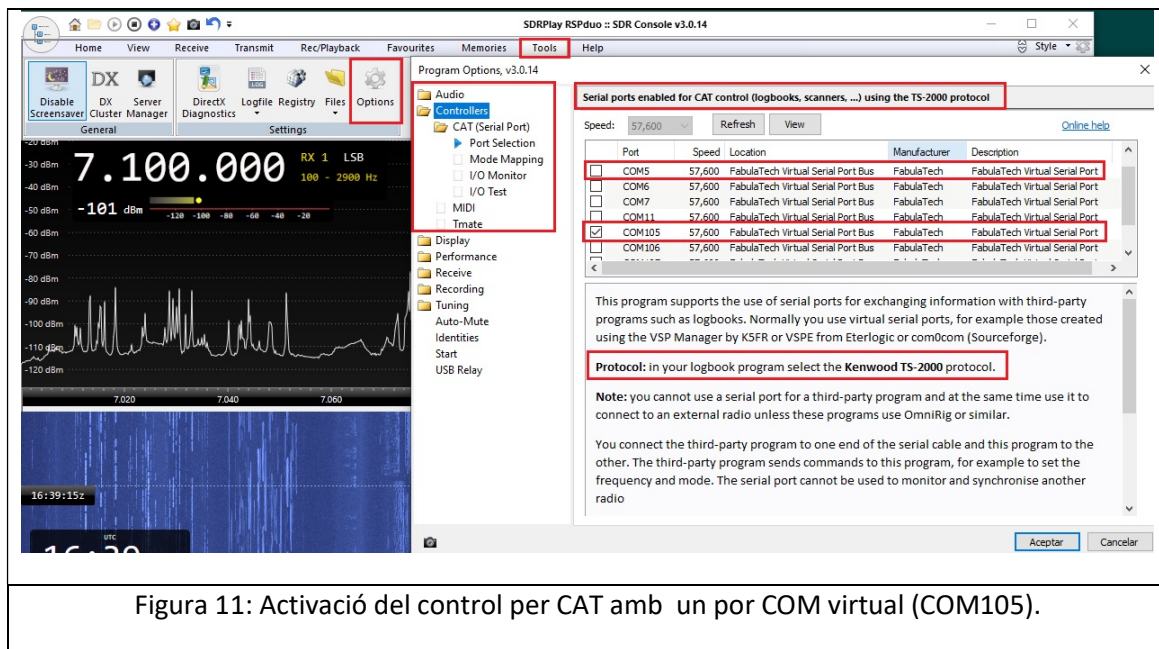


Figura 11: Activació del control per CAT amb un por COM virtual (COM105).

I el programa Ham Radio De Luxe?

Sí, efectivament és un programa que inclou el càlcul d'òrbites de satèl·lits i la correcció de l'efecte Doppler (figura 12), però és un programa que ha estat dissenyat majorment per controlar equips clàssics, i no ha estat dissenyat especialment per controlar receptors SDR, ja que no disposa de la visualització de l'espectre, i els SDR tenen els seus propis programes de funcionament i control a la pantalla del PC mitjançant ports COM virtuals.

HRD és perfecte per al seguiment de satèl·lits amb els equips pensats per operar en full dúplex com el TS-2000 i els ICOM 910 i 9700, però no he aconseguit utilitzar-lo amb un SDR, perquè jo no he estat capaç de configurar el control de dos equips diferents amb aquest programa. Potser no he estat prou persistent i algun amable lector hagi descobert la manera de fer-lo servir amb dos equips diferents. Si fos així, estaré encantat d'explicar-ho en aquestes pàgines.

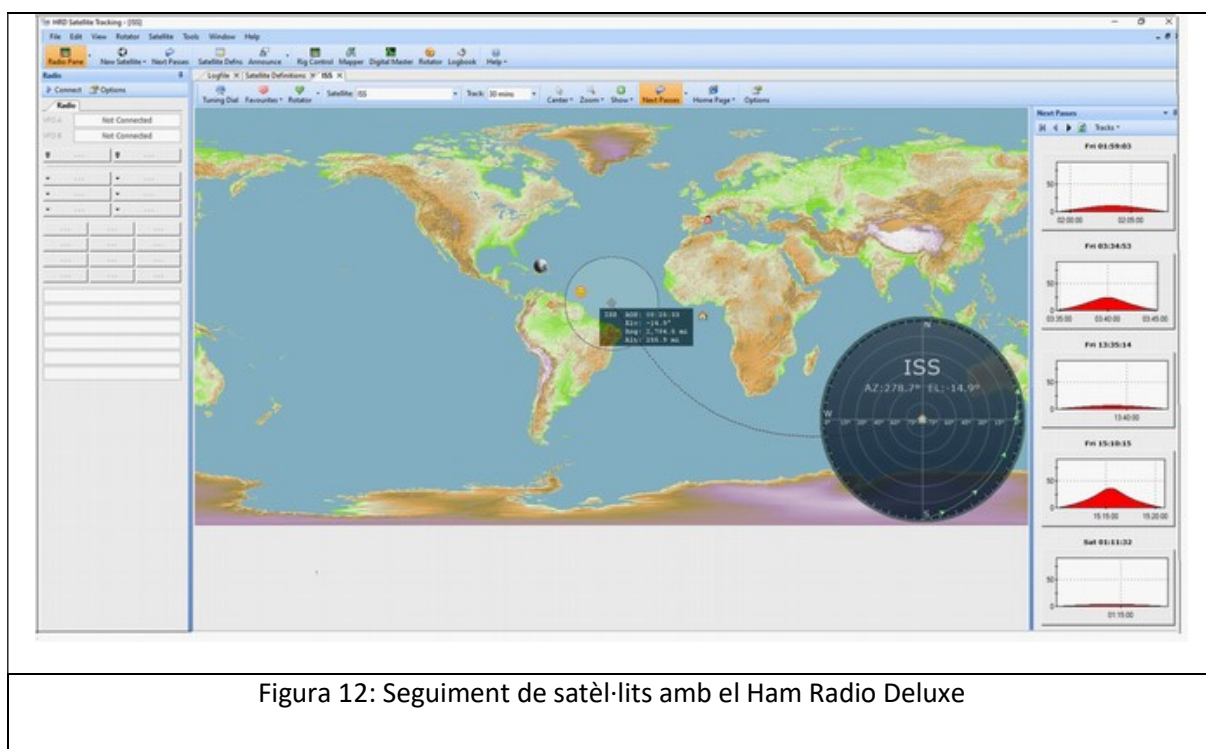


Figura 12: Seguiment de satèl·lits amb el Ham Radio Deluxe

CAPÍTOL 10: OPERACIÓ FT4 ALS LLEÓ

Es descriu amb detall els problemes i l'operativa que representa operar en la modalitat FT4 als LEO

Suposo que no hi ha cap radioaficionat que no hagi sentit a parlar de l'FT8 i el programa WSJT-X, la suite de Joe Taylor, K1JT, que disposa de més d'una dotzena de modalitats digitals, cadascuna especialitzada en alguna manera de comunicació, com per exemple el rebot a les esteles ionitzades dels meteorits, el rebot a la Lluna, als avions, a les esporàdiques E, etcètera... encara que no hem de deixar de banda les modalitats més clàssiques que treballen per simple rebot a la ionosfera, entre les quals destaca amb gran èxit el FT8 i, més recentment, el mode FT4, una versió més ràpida, dissenyada especialment per a concursos.

Aquesta modalitat FT4 opera amb un cicle TX/RX molt més breu, amb una durada de tan sols 2 x 7,5 segons, la meitat de la durada del FT8 (2 x 15 s), cosa que et permet sostenir un bon ritme de contactes en els concursos, encara que mantenint encara un notable guany digital per al DX.

L'avantatge de l'FT4 sobre la SSB la podem estimar en uns 26 dBs, que serien la suma dels -20 dBs de S/N mínima per a la seva descodificació en una amplada de banda de 3 kHz, més els +6 dB de S/N necessaris per entendre bé una modulació de SSB .

Aquest guany el converteix inesperadament en una manera molt adequada per operar en satèl·lits LEO amb equips QRP o bé amb antenes de molt poc guany, com ara les antenes omnidireccionals, i fins i tot amb qualsevol antena que tinguis per a V i U.

L'intercanvi tan reduït a SSB

Potser contagiats per la difícil comunicació en un sol canal de FM dels primers transponedors, l'escàs intercanvi en l'operativa amb satèl·lits a SSB em resulta molt decebedor, encara que en aquesta modalitat sigui molt més fàcil fer contactes que en FM, ja que disposes de moltes freqüències lliures i sempre hi ha algunes estacions operant simultàniament en aquesta manera. Tot l'intercanvi que es fa entre estacions es limita al 59 de torn i el locator. Tothom despatxa a corre-cuita els contactes i no aconsegueixes que t'expliquin res de res, ni tan sols nom ni QTH.

Això és molt apropiat quan es disposa d'un únic canal de FM al satèl·lit, com per exemple al transponedor de la ISS, perquè se suposa que has de limitar al mínim possible l'intercanvi per donar oportunitat de contactes a altres col·legues. Però entenc que resulta una mica exagerat quan es disposen de 20 minuts llargs (RS-44) a la passada amb temps sobrat per intercanviar una mica més d'informació. I encara ho trobo més absurd, quan cada vegada escolto sempre la mateixa mitja dotzena d'estacions amb què ja he intercanviat el 59 i el seu locator anteriorment, per la qual cosa no em surt a compte repetir el contacte, si no t'explicaran res de nou, sinó de nou només et passaran el mateix control i el locator.

Per això... doncs operem en FT4

Per a un intercanvi tan pobre i raquític, és molt més fàcil, còmode i relaxant operar en FT4. Els contactes són molt més fàcils, gràcies al gran guany digital que suposa aquesta modalitat i, a més, té l'avantatge per a mi que es nota molt menys el mal operador que sóc, cada cop més sord i més lent. En FT4, l'ordinador ho fa tot molt millor que jo i amb una rapidesa incomparable.

La possibilitat de descodificar senyals de la manera FT4 amb relacions S/N negatives, és a dir, molt per sota del nivell mitjà del soroll (he vist descodificacions de fins a -20 dB de S/N), ho fan molt adequat per operar en satèl·lits LEO amb qualsevol antena de VHF i UHF, especialment amb antenes omnidireccionals. Si aquestes antenes tenen un lòbul de radiació i elevació adequat, pots aconseguir mantenir l'operació a FT4 durant gairebé tot el passi del satèl·lit.

Fins i tot si pateixes dues limitacions alhora, o sigui que tens un QRP i la teva antena és molt poc adequada, segur que en FT4 en algun moment t'escoltaràs també repetit a la sortida del satèl·lit i podràs fer algun contacte, si trobes altres operadors actius, encara que aquí sorgeix un problema inesperat

El desert de l'FT4

M'ha sorprès molt que no hi hagi més gent operant en FT4, ja que m'he trobat moltes vegades operant més sol que la una, escoltant-me a mi mateix repetit el meu CQ a l'RS-44 durant tot un passi. El més curiós és que, al contrari que en SSB, en FT4 es fan contactes amb qualsevol antena i amb qualsevol potència. M'ha passat diverses vegades haver-me oblidat d'activar el programa de seguiment amb els rotors i m'he vist descodificat a la sortida del satèl·lit exactament igual.

Explicació del misteri

Gràcies a l'ajuda de Juan Piqueras, EA3TA, he descobert que arribo tard al FT4 i que tot el món d'operadors digitals en satèl·lit s'ha traslladat en ple al satèl·lit IO-117, el qual, com evoluciona a molta més altitud, proporciona a conseqüència, una àrea de cobertura molt més extensa que els permet aconseguir moltes més quadrícules.

Però els requisits per operar a l'IO-117, un satèl·lit que vola a gairebé 6.000 km d'altitud, són tan exigents o més que els necessaris per operar en SSB. Tot i que s'utilitza un mòdem especial que també proporciona més guany digital, en molts casos és insuficient per assolir-lo amb estacions que no estan ben equipades, perquè la distància és considerable i "aclareix" per l'horitzó a uns 10.000 km. Per iniciar-se en l'operació en satèl·lits penso que el FT4 és molt més interessant perquè és molt menys exigent pel que fa al hardware.

Satèl·lits operables en FT4

En les últimes versions del SatPC32 ja es troba l'arxiu Doppler.SQF que conté totes les freqüències operatives en els satèl·lits de radioaficionat actius actualment amb transponedor lineal i en el llistat del qual apareixen afegides freqüències amb la paraula "digital" als comentaris, detallant la freqüència recomanada per operar en FT4 o en qualsevol altra modalitat digital. Però per si de cas encara no hi ha les dels últims satèl·lits llançats, aquí a la

figura 1 hi ha un llistat de l'arxiu Doppler.sqf del SatPC32, que m'ha proporcionat Carlos, EA3HAH, on hi ha tots els satèl·lits disponibles (o que estaven disponibles) per operar en FT4.

```
AO-73,145952,435148,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
CAS-4A,145862,435228,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
CAS-4B,145917,435288,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
JO-97,145857,435118,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
RS-44,435612,145993,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
TO-108,145917,435288,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
XW-2A,145667,435048,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
XW-2B,145732,435108,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
XW-2C,145797,435168,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
XW-2D,145862,435228,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
XW-2F,145982,435348,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
FO-118,435528,145832,USB,LSB,REV,0,0,V/U FT-4  
HO-113,435172,145878,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
AO-109,435762,145888,USB,LSB,REV,0,0,FT-4  
HO-119,435168,145882,USB,LSB,REV,0,0,FT-4
```

Figura 1: Satèl·lits amb freqüència específica per a FT4 en el format del Doppler.sqf del SatPC32

Els que estan ressaltats en negreta s'indicaven com a actius a la pàgina d'estat de la web d'AMSAT <https://www.amsat.org/status> a l'hora d'escriure això. La resta que no està en negreta sembla que ja no se sent actualment, així que és millor que ho comproveu accedint abans a aquesta pàgina d'AMSAT. L'IO-117 és també digital però no funciona en FT4, sinó que necessita instal·lar un altre programa amb un mòdem especial digital. Us recomano intentar l'operació al RS-44 (V/U) i als xinesos 2A i 2C (U/V) perquè són menys exigents pel que fa al maquinari.

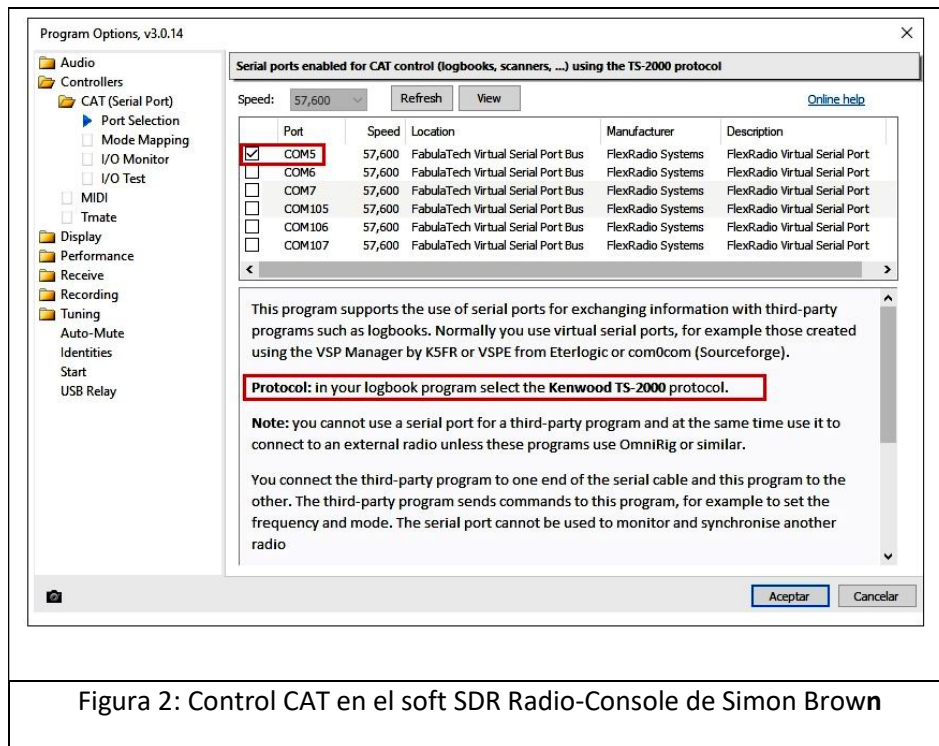
Requisits de hardware per a FT4

Si no disposeu d'un equip capaç d'operar en *full-duplex* a 144 i 432, com els ICOM 910, 9100 i 9700 i el Kenwood TS-2000, encara és possible llançar-se als LEO si tens un equip capaç d'operar en SSB a 144 i que pugui ser controlat per CAT (per exemple alguns Yaesu), perquè ja "gairebé" tens tot el necessari. Tant se val que l'equip sigui QRP perquè el guany digital de l'FT4 de +26 dB permet utilitzar molta menys potència i fins i tot una antena poc adequada, encara que no n'estic segur que ho aconseguiríeu amb els dos handicaps alhora, però no ho sabràs si no ho intenteu.

La solució SDR

Amb un pressupost acceptable, tinguis l'antena que tinguis, pots intentar operar en satèl·lits en FT4 amb resultats apreciables, encara que l'antena no et garanteixi l'operació durant tota la durada del passatge del satèl·lit. Si ja disposeu de la transmissió en SSB, a recepció, és molt fàcil aconseguir l'operació en *full-duplex* en una altra banda afegint simplement un receptor SDR bo, bonic i barat (tipus RTL-2832), ben controlat també mitjançant el programa SatPC32 que corregeix el Doppler, gràcies a un cable virtual COM gratuït que us comuniqui la freqüència corregida al programa de recepció. Concretament el programa de recepció Radio Console de

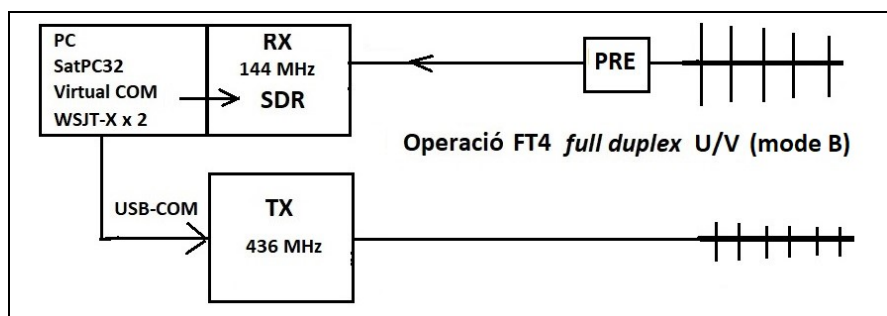
Simon Brown (figura 2) admet el protocol CAT d'un Kenwood TS-2000, i és capaç de funcionar amb gairebé tots els SDR del mercat.

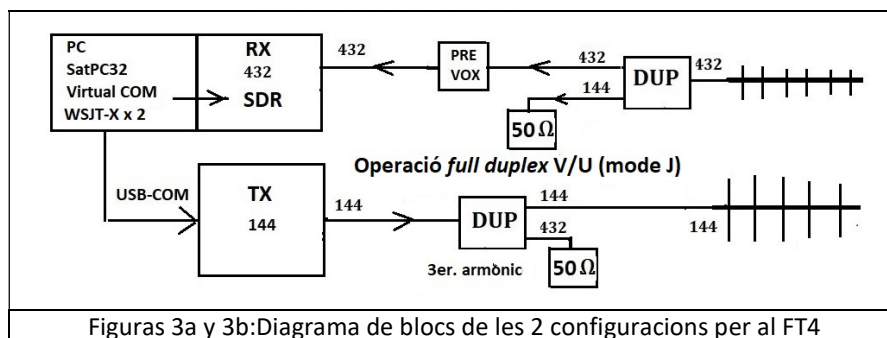


Amb o sense diplexors o duplexors

Amb la primera configuració de la figura 3a, es pot treballar en FT4 perfectament en els satèl·lits xinesos U/V, que no necessiten cap hardware addicional, mentre que per operar a l'RS-44 (V/U) normalment cal instal·lar un parell de diplexors (duplexors) que són pràcticament indispensables per utilitzar-los com a filtres barats, tal com s'indica a l'altra configuració proposada de la figura 3b.

En aquesta segona configuració normalment necessitareu afegir un filtre passa baixos per filtrar i atenuar encara més el tercer harmònic de la transmissió a 144, però també és possible que necessiteu un altre filtre passa alts per a la recepció, col·locat millor davant del preamplificador d'UHF, per evitar que aquest i també el RTL se saturin i bloquegin amb la transmissió de 144 (figura 3b) de l'antena veïna.





A la transmissió a 432 (figura 3a) no hi ha el problema amb el tercer harmònic que es genera en transmetre, perquè aquest està per sobre d'1 GHz i no ens afecta en absolut la recepció. Això fa que la primera configuració per operar en els satèl·lits xinesos sigui la més simple i realitzable, però descobreixo que tampoc no hi ha gairebé mai ningú en ells.

Parlo de duplexors (encara que pròpiament aquests són diplexors), perquè són els filtres més barats que podràs trobar per filtrar harmònics i rebutjar la banda en què transmits, perquè els filtres passa-banda per a VHF i UHF són tots molt més cars.

Preamplificadors

Gairebé sempre cal també un preamplificador instal·lat prop de l'antena d'UHF, perquè d'alguna manera cal compensar les considerables pèrdues al coaxial en aquesta banda i és sempre aconsellable per curta que sigui la baixada, encara que el coaxial tingui tan sols 10 m. És relativament fàcil d'instal·lar un preamplificador amb relés activats per VOX de RF, ja que aquest sistema funciona molt bé per a potències inferiors a 100 W i t'estalviaràs la complicació d'haver de muntar seqüenciadors temporitzats, que només són indispensables quan es manegen quilowatts per operar a rebot lunar. Només t'hauràs de procurar algun fil que pugui els 12 V fins al preamplificador.

En 144 no és indispensable l'ús d'un preamplificador a l'antena si la baixada de coaxial és relativament curta perquè les pèrdues a la línia coaxial són menors i, només si la longitud supera els 30 metres, és aconsellable compensar també les seves pèrdues amb un preamplificador situat a l'antena, que també pot estar controlat mitjançant VOX de RF, ja que no s'utilitzen potències superiors als 100 W.

A les dues estacions que utilitzo per a satèl·lits he comprovat que no s'afecta el preamplificador de 144 per la transmissió d'UHF de 50 W, per la qual cosa no he necessitat mai muntar diplexors (duplexors al comerç) davant del preamplificador de 144 com es descriu a la primera configuració (figura 3a).

Operativa dels satèl·lits en FT4

És convenient iniciar dues versions del programa WSJT-X al mateix ordinador per rebre't a tu mateix i comprovar que estàs sortint retransmès pel satèl·lit al lloc adequat i corregir a temps qualsevol desviació excessiva. Només si et descodifiques a tu mateix, podràs estar segur que t'escoltaran altres operadors també. El problema és que el primer programa WSJT-X o transmet o rep en FT4, però no fa les dues coses alhora. Un segon programa també iniciat

roman sempre a recepció per mantenir l'escolta permanent i comprovar que et descodifiques a tu mateix al satèl·lit en la freqüència correcta; és a dir, completa el full-duplex en FT4.

La segona versió només receptora haurà d'estar configurada sense especificar cap equip ni activació del PTT, encara que s'ha de configurar l'input d'àudio amb el mateix cable virtual o l'entrada d'àudio que el de la versió transmissora, per obtenir el funcionament en full-duplex”.

Instal·lació de les dues versions del WSJT-X

El procediment d'arrencada de les dues versions del WSJT-X és molt senzill:

1: En cas que ja has instal·lat anteriorment el programa WSJT-X, ja tindràs una icona d'accés directe a l'escriptori de Windows amb el subtítol “wsjtx.exe”. Ara has de duplicar la icona d'aquest accés directe, copiant-lo i enganxant-lo de nou a l'escriptori, perquè aparegui una segona còpia d'aquesta icona d'accés directe al vostre escriptori.

Nota: Aquesta primera versió del WSJT-X per a la transmissió en satèl·lits tampoc no ha de controlar la freqüència de l'equip, sinó només el PTT, perquè la freqüència d'emissió la controlarà el programa SatPC32 per compensar el Doppler, de manera que has d'eliminar també aquí la configuració de l'equip que controlava el CAT a HF i deixar configurada només la part del control del PTT.

2: Heu d'obrir les “Propietats” d'aquesta segona icona d'accés directe amb el botó dret del ratolí i a la primera línia retolada “Destí” heu d'afegir a continuació el text “-rig.name=None” (amb un espai inicial) , perquè quedi així:

Destinació: **C:\WSJT\wsjtx\bin\wsjtx.exe -rig.name=None**, tal com es mostra a la figura 4.

3: Millor que canviïs el nom que figura al subtítol de la segona icona per una línia que digui “None” per distingir-la bé de l'altra icona anterior que activa la transmissió (figura 3).

4: Engega les dues versions successivament amb un doble clic per executar-les. Primer executa la primera versió que controlarà només el PTT de l'equip en transmissió i li esborres la cascada o waterfall perquè no et servirà per res, perquè la cascada que mirarem sempre serà la de la segona versió que roman sempre en recepció. Aquí hauràs de veure la teva pròpia transmissió repetida pel satèl·lit si aconsegueixes assolir-lo. Aquesta segona versió rebrà tot el temps i utilitzarà una configuració inutilitzada totalment perquè no activi el PTT.

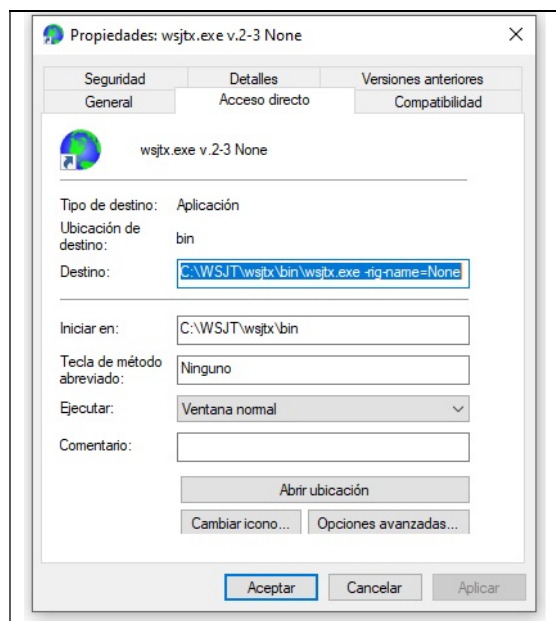


Figura 4: Otra versión con equipo "None"

La nostra transmissió (el nostre CQ) apareixerà al requadre de transmissió de la primera versió i, si la repeteix bé el satèl·lit, haurà d'aparèixer també ara al requadre de recepció de la segona versió.

Quan ens rebem, comprovarem primer si la freqüència del to d'àudio de la nostra transmissió és a prop de la mateixa freqüència d'àudio del to rebut repetit pel satèl·lit. Si no fos així, podem de corregir la freqüència de transmissió al requadre CAT del SatPC32 (figura 5), tenint bé en compte que, si volem que pugi la freqüència del nostre senyal repetit (per exemple desplaçar la nostra pròpia RX +500 Hz), haurem de baixar la freqüència de transmissió a l'entrada (Upl.Calibr -500), ja que ambdues correccions del Doppler es mouen sempre en sentit oposat (REV). També es recomana augmentar la velocitat d'actualització del Doppler (Interval Speed) al multiplicador x5 o x10 en aquesta mateixa pantalla.

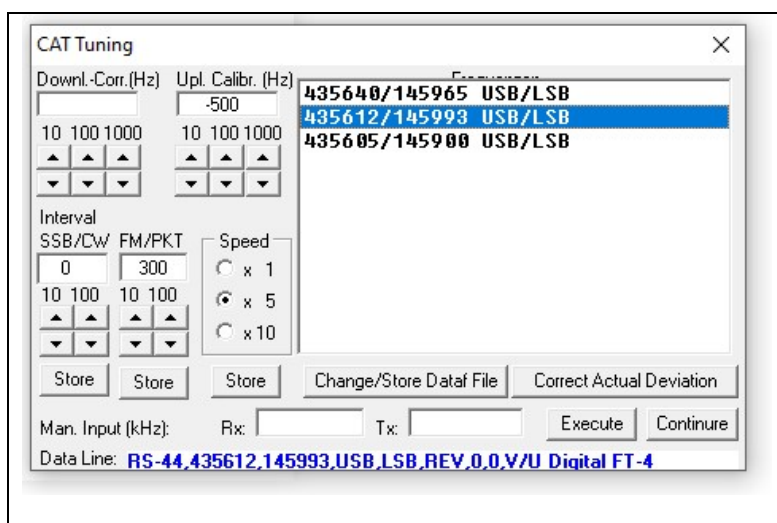


Figura 5: Configuració CAT Tuning al SatPC32

Mesurament del soroll local el 144

Com que m'avorria operant només a l'RS-44 i als satèl·lits xinesos, mitjançant l'FT4 m'he dedicat a estudiar el soroll local a Barcelona, comparant-lo amb el soroll local a la meua segona estació. Per això, utilitzo la transmissió FT4 a Barcelona i comprovo la recepció simultània dels meus senyals retransmesos a FT4 als satèl·lits xinesos a les dues estacions receptores separades per tan sols 20 km.

Els resultats han estat sorprenents. Tinc les mateixes antenes Wimo a les dues estacions equipades amb els mateixos rotors de seguiment i uns preamplificadors semblants a les dues antenes. Escoltant en 144 les retransmissions a FT4 al satèl·lit xinès XW-C a Barcelona i a Vilassar de la transmissió en 432 des de Barcelona, el resultat ha estat el següent:

La mitjana dels senyals rebuts a Barcelona té de mitjana una S/N de -12 dB respecte dels senyals rebuts a Vilassar, tot i que s'observa clarament que quan el satèl·lit està en òrbita ascendent més o menys al sud de la meua estació, és dir venint del mar i sortint més o menys per Montjuïc la mitjana de les diferències a S/N és al voltant de -10 dB en aquesta primera part del passi (sud-est), que passa a ser de -15 dB de mitjana a la segona part de la passada, quan el satèl·lit ja ha sobrepassat la seva màxima elevació i ja és més cap al nord sobre el Tibidabo.

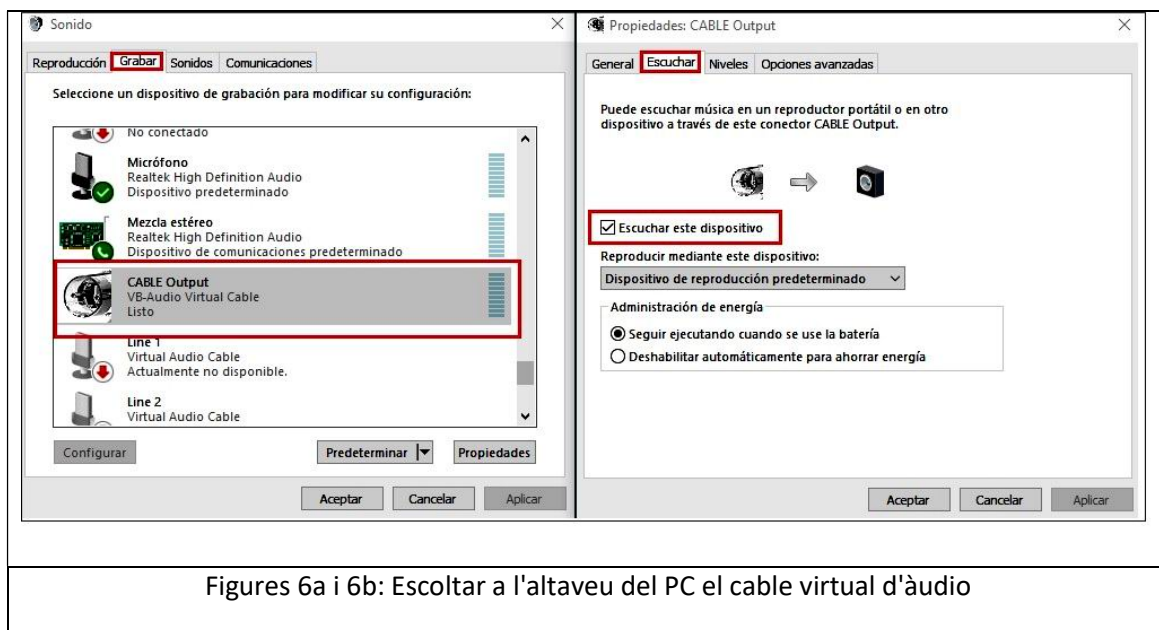
El soroll exterior limita la RX a VHF

Això demostra les dificultats operatives en una gran ciutat com Barcelona, on ja no és vàlid això que el soroll exterior mana només en freqüències per sota de 25 MHz, mentre que és el soroll intern del receptor és el que limita la recepció en freqüències com els 144. És evident que a Barcelona a VHF també domina el soroll exterior, produït pel soroll de fase de les transmissions de FM, TV i serveis, perquè el soroll local supera fins a 15 dB el que existeix en zones amb menys soroll a un poble com Vilassar.

Escoltar l'àudio al PC

Com se suposa que estaràs assegut davant del PC, és millor que escoltis l'àudio també als altaveus del PC, perquè així sabràs a cada moment què està passant a l'equip. És molt fàcil activar-lo perquè l'àudio transportat pel cable virtual USB o l'àudio del cable virtual connectat a l'RX se senti també a l'altaveu del PC l'entrada.

Cal entrar a Sistema -> So -> Panell de control de so del Windows. Quan s'hagi obert aquesta pantalla (figura 6a), clicarem a la solapa "Gravar" per buscar la línia corresponent a l'entrada del cable virtual d'àudio o el cable d'àudio USB i, a la solapa "Escoltar", activarem la casella "Escoltar aquest dispositiu" (figura 6b).



Figures 6a i 6b: Escoltar a l'altaveu del PC el cable virtual d'àudio

Però si és barat...

A veure si això us anima a provar la modalitat FT4 en satèl·lits, mode que està relativament a l'abast de qualsevol estació, amb l'esperança que ens trobem algun dia en algun satèl·lit. I si no ens trobem i tampoc aconseguim algun corresponsal, almenys podreu escoltar-vos a vosaltres mateixos, sortint repetits al satèl·lit, la qual cosa també, com veureu, és interessant per comprovar el nivell del soroll local si comparem les lectures amb l'estació de algun col·lega que estigui en alguna altra població veïna. Només cal comparar les relacions S/N obtingudes per ambdues estacions receptores en el mateix segon. I també, si estimeu que el soroll local és similar en ambdós QTHs, podreu treure alguna conclusió sobre els guanys de les vostres antenes respectives.

I aquest és el final de tota aquesta història.

73 Luis EA3OG

APÈNDIX 1: CONFIGURACIÓ DE L'ICOM IC-9700

Tots els detalls de la configuració necessària per operar en satèl·lits amb l'IC-9700 amb el programa SatPC32 i altres programes.

Crec que pot ser interessant publicar la configuració per operar en satèl·lits amb l'equip ICOM 9700, el nou transceptor SDR d'ICOM, equip que ha estat especialment dissenyat per operar en *full-duplex* en VHF i UHF en satèl·lits. Curiosament, la configuració per manejar el Doppler amb el programa SatPC32 és impossible de deduir del manual, i si no hagués estat perquè me l'ha proporcionat un bon amic, Juan Piqueras, EA3TA, m'hauria estat impossible endevinar-la, perquè el manual de l'IC-9700 és confús i, encara que explica com utilitzar l'equip en satèl·lits, no explica amb detall la funció de cadascun dels paràmetres dels menús per permetre't connectar-lo i controlar-lo amb el SatPC32.

El possible origen del problema

Penso que les dificultats per configurar bé l'IC-9700 procedeixen de que ha estat dissenyat per permetre el control CAT de quatre maneres diferents. Les dues primeres opcions són per al control remot pel cable de control CI-V, el tradicional dels ICOM, i després l'han adaptat per a un cable USB també. Però també permet dues opcions més per al control remot de l'equip per cable Ethernet, tant per una xarxa local com per Internet. Amb totes elles, han muntat un embolic als menús de configuració de l'equip que no s'explica prou bé al manual.

Jo diria que és molt convenient utilitzar el cable i el port USB per connectar aquest equip a un PC perquè, a més dels dos ports COM per a CAT i PTT, també proporciona les connexions d'àudio d'entrada i sortida al PC. I tot això s'aconsegueix amb un sol cable USB entre l'equip i el PC, així que és millor que ens oblidem del cable CI-V de control.

Aquest cable USB no experimenta cap problema a VHF i UHF perquè, amb potències de fins a 100 W, no conec ningú que hagi tingut problemes de RF circulant per l'exterior del cable coaxial amb el cable USB en aquest equip. Això és perquè la longitud del coaxial en aquestes bandes és molt elevada en comparació amb la longitud d'ona (2 m) i la malla es comporta com un fil llarg i qualsevol corrent exterior a la malla que pugui procedir d'una antena sense balun són molt petites i a sobre es radien pel camí abans d'arribar a l'equip. Així que normalment no ens haurem de preocupar per la perfecta simetrització de corrents al coaxial en el punt de la connexió de les antenes en aquestes bandes, si no utilitzarem un quilovat per operar en EME.

El control CAT mitjançant l'USB de l'IC-9700

S'ha de connectar el PC a l'IC-9700 mitjançant un cable USB-A/USB-B, del mateix tipus del que s'utilitza per a impressores, el que porta dos connectors USB diferents als extrems. Quan us connecteu al PC, l'equip IC-9700 genera automàticament 2 ports COM i dos cables USB d'àudio (input i output).

Obre l'Administrador de Dispositius del Windows i verifica els números que els Windows ha atorgat a aquests dos ports COM. Només un dels ports es pot utilitzar per al control CAT de la freqüència (normalment el primer), mentre que el segon controla el PTT de qualsevol possible mòdem digital.

Configuracions de l'IC-9700 per al SatPC32:

1. Prem a Menú -> SET (configurar) i escull Connectors.

2. A la pàgina 3/4 de Connectors -> escull CI-V

3. Entra ara a CI-V i a la pàgina 1/3 estableix:

CI-V Baud Rate: 19200

CI-V Address: A2h, (predeterminada de l'IC-9700) (Has d'entrar-la al SatPC32)

CI-V Transceiver: OFF

USB/LAN Remote Transc. Add. : 00h

4. A la pàgina 2/3 de CI-V configura:

CI-V USB Port: Unlink from [Remote]

CI-V USB Baud Rate: 57600 o 115.200 Estableix la mateixa taxa de bauds a SatPC32

CI-V-USB Echo Back: ON

CI-V DATA Baud Rate: 9600

5. A la pàgina 3/3 de CI-V estableix:

CI-V DATA Echo Back OFF

Configuracions al menú de SatPC32

Un cop arrencat el programa, has d'obrir **Setup -> Ràdio Setup** i configurar les dues ràdios com segueix (figura 1):

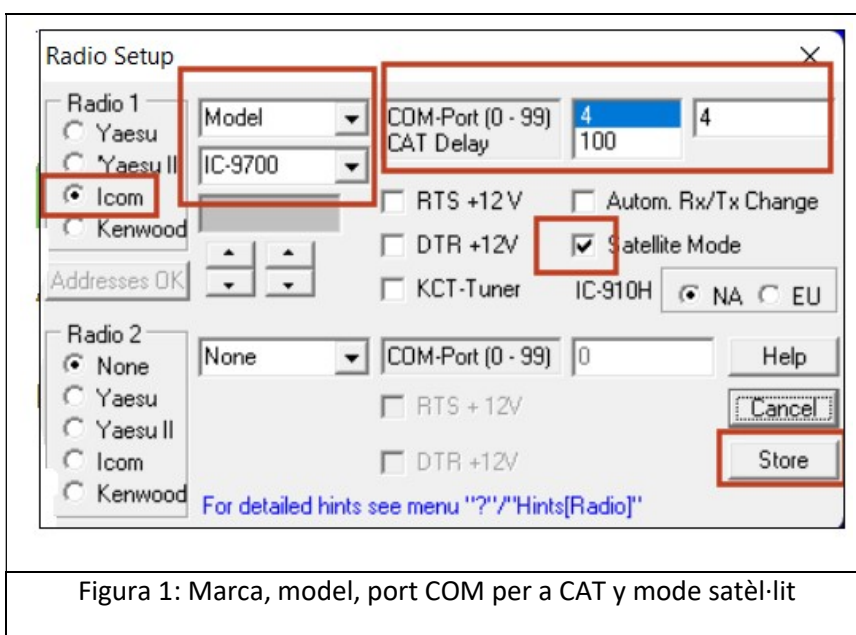


Figura 1: Marca, model, port COM per a CAT y mode satèl·lit

Configuració de Ràdio 1 (figura 1):

- Marca: Icom
- Model: IC-9700
- Número de port COM: el número de port COM que genera l'adaptador USB per a CAT és el del valor més baix o sigui que haurà de ser el primer que apareix a l'Administrador de Dispositius.
- CAT Delay: > 50 ms o més. Amb 70 ms, funciona perfectament.

- Marca la casella 'Satellite Mode' i deixa en blanc totes les altres opcions del menú

Configuració de Ràdio 2: "None".

-**Velocitat en bauds (Baudrate) del port CAT:** 57600 o 115.200 segons hagi posat també a l'equip (figura2). La velocitat Baudrate està amagada obrint un desplegable que es troba sota l'opció "Model".

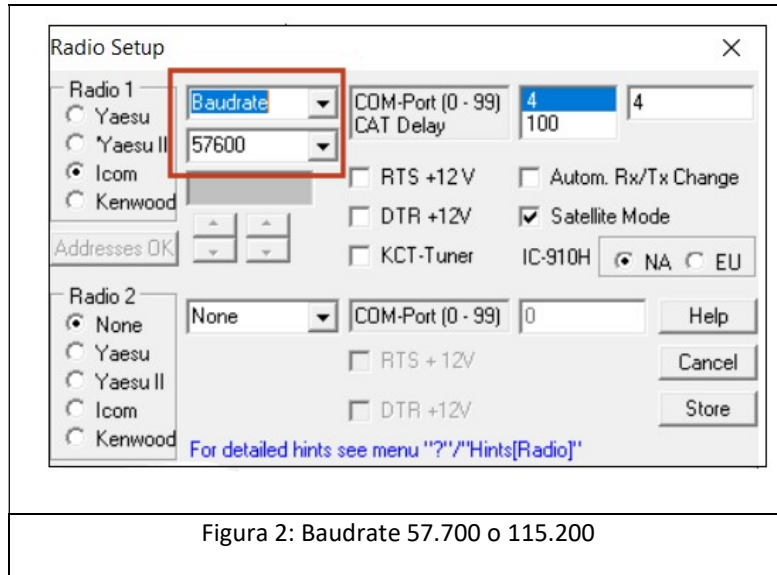


Figura 2: Baudrate 57.700 o 115.200

Addresses: heu de col·locar les xifres hexadecimals \$A2, \$A2 en aquesta opció (figura3) que també està amagada al desplegable sota "Model", perquè aquestes xifres són específiques de l'equip IC-9700. El canvi d'aquestes xifres serveix per permetre el control remot de diversos equips ICOM diferents. Fes servir les fletxes de pujar i baixar per canviar-les, però després les has de gravar clicant en **Addresses OK**.

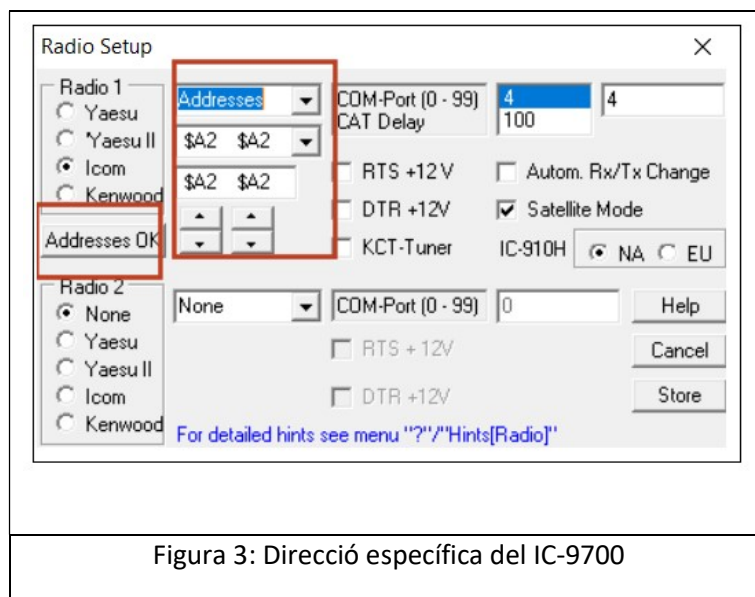


Figura 3: Direcció específica del IC-9700

Abans de sortir d'aquesta configuració, no us oblideu de prémer a “Store”, perquè en cas contrari NO s'aplicaran els canvis al programa. Però recorda també que TAMPOCO s'han aplicat tots aquests canvis encara, fins que no reiniciïs de nou el programa SatPC32.

Activació automàtica

El mode satèl·lit de l'ICOM 9700 s'activa automàticament en *full-duplex* tan aviat com arrenques el SatPC32, si al programa has marcat la casella corresponent Satellite Mode. Però recorda també que, si treballaràs en modes digitals, l'interval d'actualització del control del Doppler per CAT del programa SATPC32 has de posar-lo a “0” a la solapa i pantalla retolada CAT i almenys has d'activar la multiplicació x5 (figura 4) si operaràs en modes digitals com el FT4. Aquest interval per corregir la freqüència pot romandre en 10 Hz per operar SSB i en 300 Hz per a l'operació en FM, però és important reduir-lo a “0 Hz” per a la correcció més ràpida que exigeix l'operació a FT4 i altres modes digitals.

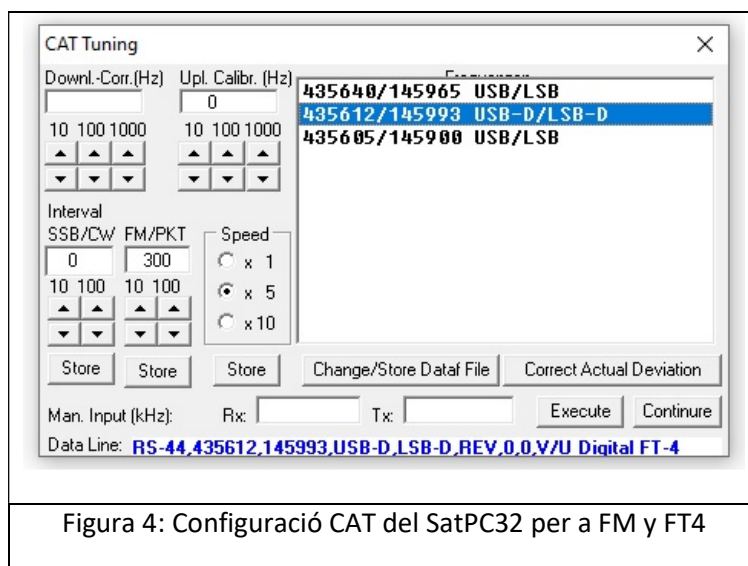


Figura 4: Configuració CAT del SatPC32 per a FM y FT4

Satèl·lits i remot?

L'equip IC-9700 també proporciona cables d'àudio virtuals d'entrada i sortida addicionals per a un control remot del CAT per TCP/IP, que funciona mitjançant un programa opcional (però de pagament), l'RS-BA1 (ja en la versió 2), però era un programa dissenyat per a l'IC-7300 i em temo que se'ls ha oblidat col·locar-li el botó d'activació full-dúplex per a satèl·lits per remot de l'IC9700, o almenys jo no he estat capaç de trobar-lo, i això m'ha impedit utilitzar-lo en remot en satèl·lits mitjançant el programa de control remot de l'ICOM. Suposo que qualsevol dia se'ls acudirà incloure'l també en una nova versió.

De tota manera, aquest equip sí que es pot utilitzar també en satèl·lits en remot per Internet per operar-hi en SSB i en FT4 accedint per VPN al PC en què corre el SatPC32 i que maneja l'equip pel cable USB, perquè en iniciar-se aquest programa ja us envia automàticament l'ordre necessària per activar-lo en mode *full-duplex* per a satèl·lits si heu marcat la casella corresponent (figures 1,2 i 3).

Lamentablement, no he aconseguit que em permeti la connexió simultània per USB i per TCP/IP remot des d'un RS-BA1 remot, si prèviament ja està activada la connexió USB amb un PC veí a l'equip on corre el SatPC32 que el controla. Si pretens operar per remot en satèl·lits en FM i en SSB, em temo que hauràs de recórrer a una connexió remota VPN per a l'enviament i la recepció d'àudio al PC que el controla amb el SatPC32.