

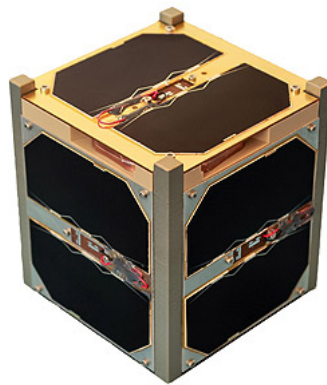


Universidad Carlos III de Madrid

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

# DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES POR SATÉLITE

## AAUSAT-4



Autor:

Francisco Atalaya Gómez

Diciembre 2020

## Contents

<b>1</b>	<b>AAUSat-4</b>	<b>2</b>
1.1	El satélite . . . . .	2
1.2	Estaciones base y embarcaciones . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Cálculos teóricos</b>	<b>4</b>
2.1	Uplink . . . . .	4
2.2	Downlink . . . . .	5
2.3	Balance de enlace total . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Simulación</b>	<b>7</b>
3.1	Ángulos de elevación . . . . .	8
3.2	Interferencia Solar . . . . .	10
3.3	Balance de enlace . . . . .	11
3.4	Cobertura . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Conclusión</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>13</b>

## 1 AAUSat-4

El satélite que se tendrá en cuenta para el estudio se trata del AAUSAT-4, cuyo nombre completo es Aalborg University Cubesat 4. Este satélite se trata de un cubesat lanzado el 25 de abril de 2016 por la Universidad de Aalborg, Dinamarca.

Es utilizado por embarcaciones marítimas como sistema AIS para el envío de información como identificación, posición, rumbo y velocidad. Aunque los barcos pueden transmitirse información unos a otros, se utilizan estos satélites porque permiten una gran cobertura y la retransmisión a estaciones terrestres con el fin de monitorizar grandes áreas marítimas [1].

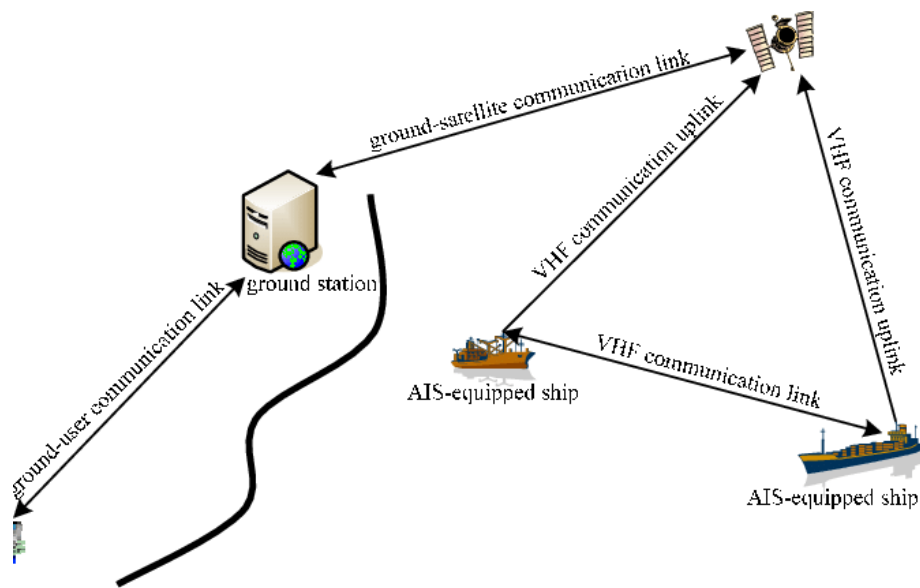


Figure 1: Esquema de un sistema AIS [2].

El protocolo encargado de controlar y administrar el enlace es AX25. Este protocolo añade cabeceras a la información a transmitir para el control de errores y el control del enlace, cabeceras como flags para indicar cuando comienza y acaba la transmisión, la dirección del transmisor y receptor o el tipo de trama. Para la detección de errores se utiliza una cabecera FCS que contiene un CRC de 16 bits [3].

### 1.1 El satélite

El tamaño de este cubesat es de 1U, es decir, 10x10x10 cm [1] con una masa de 1 kg [6]. La frecuencia para el enlace, semi-dúplex, es de 437 MHz con modulación

GMSK [9], a una velocidad de 500 kbps y un ancho de banda de 12.5KHz.

La antena utilizada es un dipolo perpendicular de ganancia 0 d y tiene una temperatura de ruido que oscila entre 230 y 310 kelvin. Además, la potencia transmitida es 0.5 W, esto es, -3 dBW. Por otro lado, tenemos que la línea que alimenta la antena tiene unas pérdidas de 4.4 dB [3].

La órbita de este cubesat es una órbita heliosíncrona [4], es decir, el satélite pasa sobre una determinada latitud terrestre a un mismo tiempo solar local [5]. Tiene un periodo de 95,5 minutos con un perigeo de 440.7 km, un apogeo de 647.8 km y una altitud media es de 544.2 km. Además, su semieje mayor es de 6915 km. Por otro lado, tiene una inclinación de  $98.1^\circ$  [7] y una excentricidad de  $1.77 \cdot 10^{-2}$  [4].

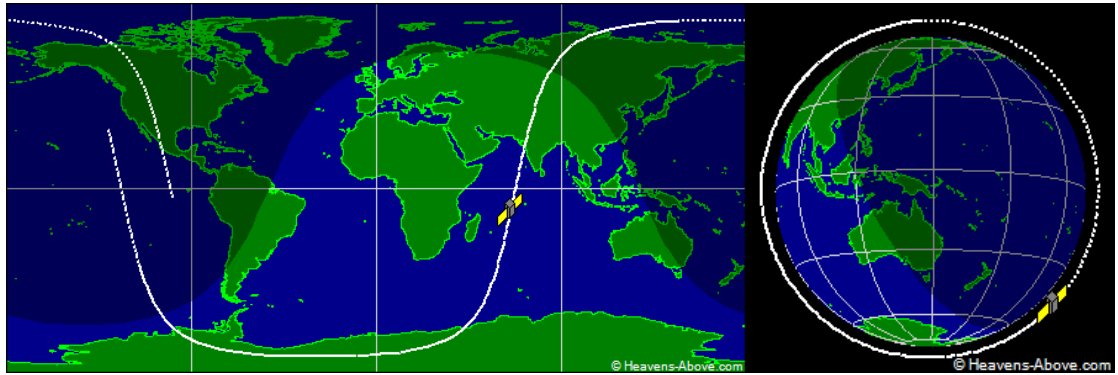


Figure 2: Órbita de AAUSat-4 [8].

En la figura 2 encontramos un ejemplo de cómo es su órbita. Esta sería fija mientras la Tierra va rotando. De esta forma barre el globo terráqueo entero.

## 1.2 Estaciones base y embarcaciones

Supondremos, por falta de información, que tanto en las estaciones base como en las embarcaciones se utiliza el mismo sistema de transmisión. Encontramos como antena un par de antenas yagi cruzadas con 16 elementos cada una. El conjunto de estas antenas proporciona una ganancia de 16 dB. Además, la temperatura de ruido se encuentra entre los 250 y 310 kelvin [3].

La potencia transmitida a la antena es de 75 W, es decir, 18.75 dBW. Por otro lado, encontramos que las pérdidas de la línea de alimentación son de 3.3 dB [3].

## 2 Cálculos teóricos

Ahora procedemos a realizar los cálculos teóricos del balance de enlace dada la información anterior.

### 2.1 Uplink

El uplink es la transmisión de la estación base a nuestro satélite. Para esto tendremos en cuenta la relación portadora a densidad espectral de ruido:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{\uparrow} = PIRE_{EB} + \left(\frac{G}{T}\right)_{Sat} - L_b - 10\log_{10}(k)$$

Donde:

- $PIRE_{EB}$  es la potencia isotrópica radiada efectiva de la antena de la estación base.
- $\left(\frac{G}{T}\right)_{Sat}$  es el factor de calidad de la antena del satélite.
- $L_b$  son las pérdidas de propagación.
- $k$  es la constante de Boltzmann,  $1.38 \cdot 10^{-23}$ .

Primero calcularemos la PIRE de la estación base con la siguiente ecuación:

$$PIRE_{EB} = P_{tx} + G_{tx} - L_{linea} = 18.75 + 16 - 3.3 = 31.45 \text{ dB}$$

El factor de calidad de la antena se puede calcular teniendo en cuenta la ganancia de la antena del satélite, 0 dB, y la temperatura del ruido de recepción de la misma. Para esto último cogemos la temperatura para el peor caso, 360 K:

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{Sat} = G_{Sat} - 10\log_{10}(T) = 0 - 10\log_{10}(360) = -24.913 \text{ dB}$$

Por último, resta calcular las pérdidas de propagación. Para ello hemos de tener en cuenta la distancia de la Tierra que, para el peor de los casos, el apogeo, es de 647,8 km. Además tendremos en cuenta que se establece un ángulo de elevación mínima de 5°, que es lo usual [10].

Aplicando la fórmula para el ángulo central dados los anteriores datos tenemos

lo siguiente:

$$\gamma = \arccos \left( \frac{R_e}{R_e + h} \cos El \right) - El = \arccos \left( \frac{6371}{6371 + 647.8} \cos 5 \right) - 5 = 20.277^\circ$$

Ahora aplicamos la ecuación de la distancia para satélites LEO:

$$d = \sqrt{R_e^2 + (R_e + h)^2 - 2R_e(R_e + h)\cos \gamma}$$

$$d = \sqrt{6371^2 + (6371 + 647.8)^2 - 2 \cdot 6371(6371 + 647.8)\cos(20.277)} = 2441.72 \text{ km}$$

Para calcular las pérdidas de propagación en espacio libre, emplearemos la siguiente ecuación:

$$L_b = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda_0} \right)$$

Donde  $d$  es la distancia de la estación base al satélite en metros y  $\lambda_0$  es la longitud de onda a la frecuencia de transmisión, 437MHz:

$$\lambda_0 = \frac{c_0}{f_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{437 \cdot 10^6} = 0.686 \text{ m}$$

Tenemos:

$$L_b = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi \cdot 2441723}{0.686} \right) = 153.01 \text{ dB}$$

Finalmente, sustituimos los datos calculados en la relación portadora a densidad espectral de ruido obteniendo lo siguiente:

$$\left( \frac{C}{N_0} \right)_\uparrow = 31.45 + (-24.913) - 153.01 - (-228.6) = 82.127 \text{ dBHz}$$

## 2.2 Downlink

Ahora pasamos a analizar el downlink, es decir, la transmisión de nuestro satélite a la embarcación. El procedimiento es igual al anterior pero cambiando algunos

parámetros:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{\downarrow} = PIRE_{Sat} + \left(\frac{G}{T}\right)_{EB} - L_b - 10\log_{10}(k)$$

Como se puede ver, en este caso la  $PIRE$  pertenece al satélite, pues es quien manda la señal, y el factor de calidad pertenece a la estación base, puesto que recibe la señal.

Pasamos a calcular los distintos parámetro necesarios. Las ecuaciones empleadas son iguales a las del *Uplink*. El primero de ellos es  $PIRE_{Sat}$ , para lo que tendremos en cuenta que la potencia transmitida es de -3 dBW, la ganancia de la antena es de 0 dB y las pérdidas de la línea son de 4.4 dB.

$$PIRE_{Sat} = -3 + 0 - 4.4 = -7.4 \text{ dB}$$

Lo siguiente es calcular el factor de calidad de la estación base. Para ello, sabemos que la ganancia de las antenas es de 16 dB y la temperatura de ruido, en el peor caso, es 310 kelvin.

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{EB} = 16 - 10\log_{10}(310) = -8.913 \text{ dB}$$

Las pérdidas de propagación son iguales en el enlace de subida y de bajada, aprovechando los cálculos anteriores, tenemos que estas son 153.01 dB. Sustituimos los datos en la ecuación de la relación portadora a densidad espectral de ruido y obtenemos:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{\downarrow} = -7.4 + (-8.913) - 153.01 - (-228.6) = 59.277 \text{ dBHz}$$

### 2.3 Balance de enlace total

Asumiendo que el ruido se distribuye uniformemente en el ancho de banda, tenemos que la inversa de la relación del balance total es la suma de las inversas de las relaciones (nótese que es en unidades naturales). Esto es:

$$\left(\frac{c}{n_0}\right)_T^{-1} = \left(\frac{c}{n_0}\right)_{\uparrow}^{-1} + \left(\frac{c}{n_0}\right)_{\downarrow}^{-1}$$

Sustituyendo los resultados, en unidades naturales, de los anteriores apartados obtenemos lo siguiente:

$$\left(\frac{c}{n_0}\right)_T = \left( \underbrace{\left(10^{\frac{82.127}{10}}\right)^{-1}}_{Uplink} + \underbrace{\left(10^{\frac{59.277}{10}}\right)^{-1}}_{Downlink} \right)^{-1} = 842272.66$$

Pasando esta cifra a dBHz obtenemos lo siguiente:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_T = 10 \log_{10}(842272.66) = 59.254 \text{ dBHz}$$

Como se puede ver, la calidad del enlace total se asemeja más al enlace con menos calidad. En este caso se trata del enlace descendente el que condiciona nuestra calidad del enlace.

Por último la energía por bit por densidad de ruido para una velocidad de bit de 500 kbps es la siguiente:

$$\frac{e_b}{n_0} = \left(\frac{c}{n_0}\right)_T \cdot \frac{1}{R_b} = 842272.66 \cdot \frac{1}{500 \cdot 10^3} = 1.68$$

### 3 Simulación

Ahora procederemos a la simulación de nuestro satélite en SPAT. Para ello tendremos en cuenta que la estación base es 1888 - SA2KNG Alt/Az [11]. Esta estación se encuentra en Umeå, Suecia, en las coordenadas 63.854°, 20.208°. Está a una altura de 35 metros y cuenta con una yagi cruzada con una elevación mínima de 3º.

Los datos introducidos para la estación base y para el satélite en SPAT son los siguientes:



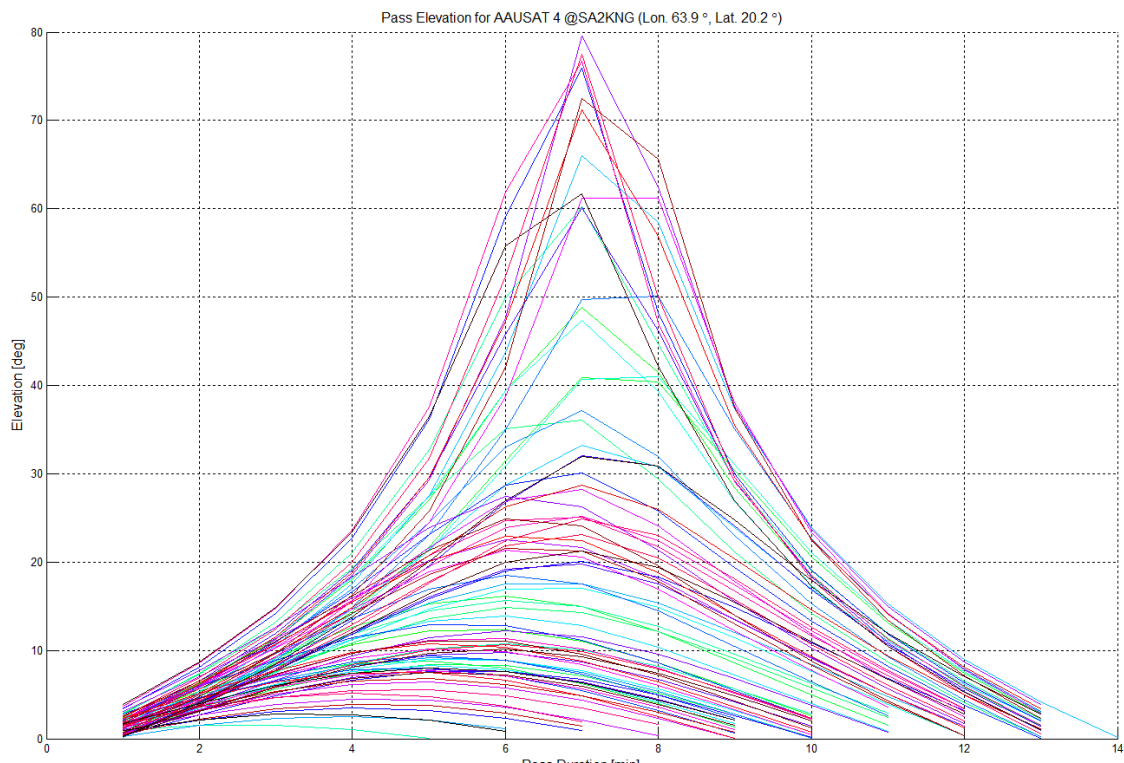
Semi-major Axis [km]		6917.3224	Eccentricity	0.014948
Inclination [deg]		98.1194	RAAN [deg]	128.6244
Lon. of Perigee [deg]		259.53	True Anomaly [deg]	98.9048
Orbital Period [min]		95.3757		

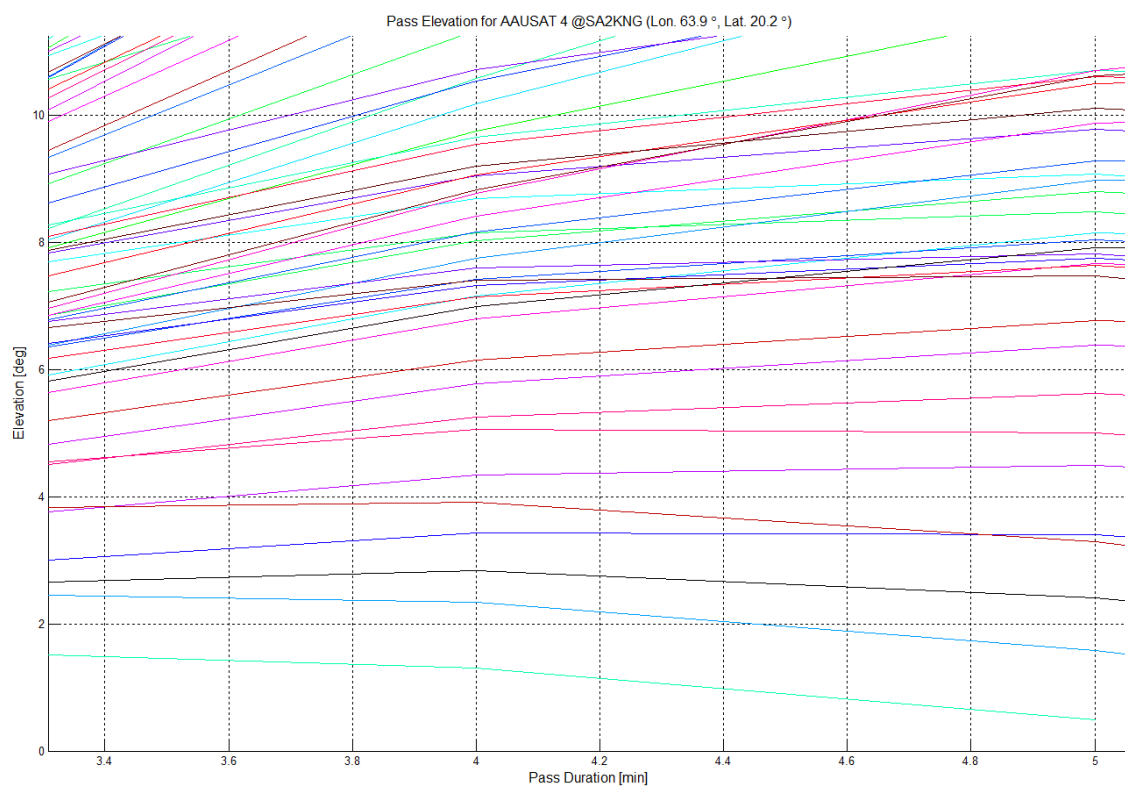
<b>-- Ground Stations --</b>	
Ground Station Name:	
SA2KNG	
Ground Station Long. [deg]:	
20.208	
Ground Station Lat. [deg]:	
63.854	

### 3.1 Ángulos de elevación

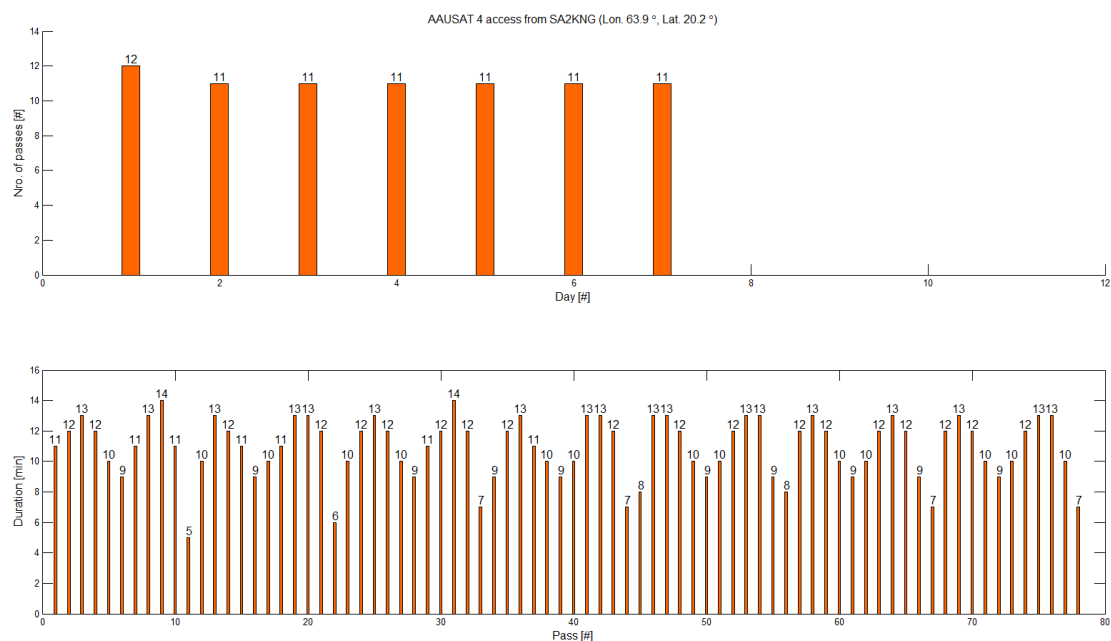
La siguiente gráfica representa varias funciones, cada una por avistamiento del satélite, que relacionan el ángulo de elevación durante el trayecto y su duración. El ángulo máximo que se alcanza es de  $80^\circ$ , con una duración de 13 minutos.



Si ampliamos la gráfica, nos encontramos con que algunos avistamientos no superan la condición necesaria de tener un ángulo de elevación de al menos  $3^\circ$ . Son cuatro las que no la superan.



Por otro lado, podemos generar las siguientes gráfica. En estas vemos el número de pases por días y la duración de cada pase:

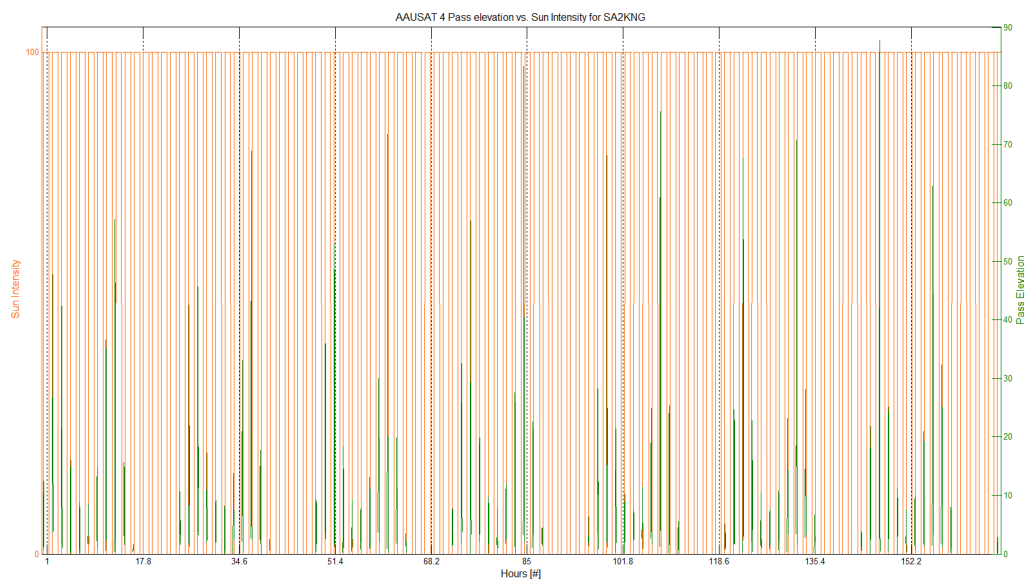


A el número total de pases tenemos que restarle aquellos que no cumplen

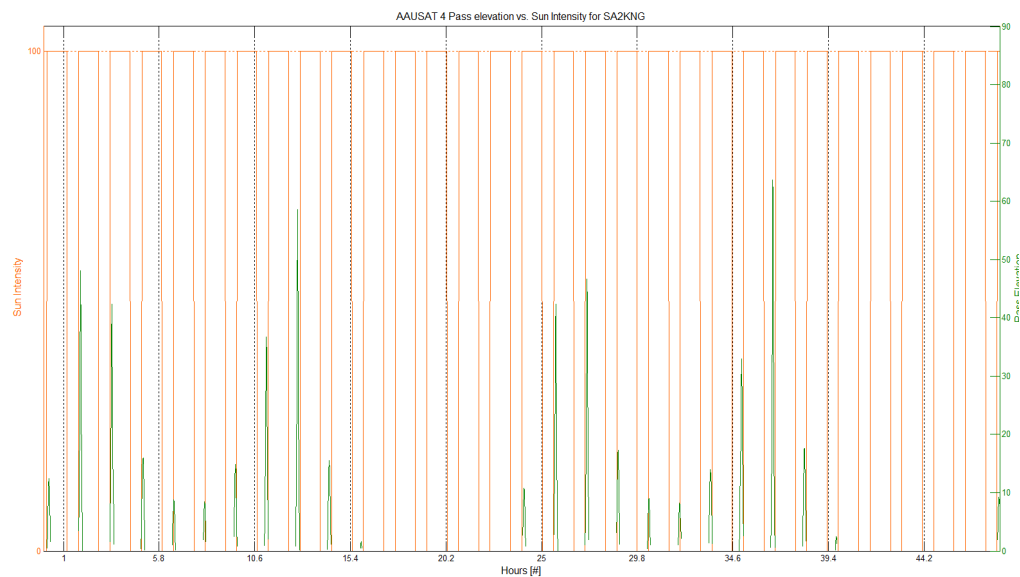
la condición del ángulo de elevación. El número total de pases por semana es de 74. Además, Los pases con menor tiempo de duración son de 5 minutos, tiempo suficiente para que una embarcación transmita información referente a su posición a otras embarcaciones o estaciones base.

### 3.2 Interferencia Solar

Para la interferencia solar, nos apoyaremos en el siguiente gráfico:



En este caso reharemos la simulación para dos días para tener una mayor claridad:



Como podemos ver, tenemos pases con un ángulo de elevación de  $50^\circ$  a una intensidad solar de 100. Otros de  $65^\circ$ , que podrían verse más afectados por la interferencia solar, se encuentran a una intensidad de 0 por lo que no son críticos.

### 3.3 Balance de enlace

Para la simulación del balance de enlace se utilizarán los datos de la imagen de la izquierda. Los resultados obtenidos se pueden encontrar en la imagen de la derecha.

-- Satellite Data	-- Ground Station Data		Downlink	Uplink
Tx Output Power [W]:	Tx Output Power [W]:	Elevation [deg]	10	10
0.5	75	Frequency [MHz]	437	437
Tx Antenna Gain [dB]:	Tx Antenna Gain [dB]:	Distance [km]	7.0376e+03	7.0376e+03
0	16	Tx. Power [dBW]	-3.0103	18.7506
Rx Antenna Gain [dB]:	Rx Antenna Gain [dB]:	Tx. Loss [dB]	0	0
0	16	Tx. Antenna Gain [dBi]	0	16
Antenna 3dB angle [deg]:	Antenna 3dB angle [deg]:	=== EIRP [dBW] ===	-3.0103	34.7506
360	14.8	Free Space Loss [dB]	151.6189	151.6189
Antenna Depol. [deg]:	Antenna Depol. [deg]:	Atm. Losses [dB]	0.4930	0.4930
0	0	Polarization Losses [dB]	0	0
Downlink Carrier Freq. [MHz]:	Uplink Carrier Freq. [MHz]:	Pointing Losses [dB]	0	0
437	437	Equipment Losses [dB]	7.7000	7.7000
Equipment loss [dB]:	Equipment loss [dB]:	=== Propagation Loss [dB] ===	159.8119	159.8119
4.4	3.3	Rx. Antenna Gain [dB]	16	0
Downlink Data Rate [bps]	Uplink Data Rate [bps]	Rx. Noise Temperature [K]	453.7115	481.9689
500000	500000	Rx. G/T [dB/K]	-10.5678	-26.8302
Downlink Bit Error Rate (BER)	Uplink Bit Error Rate (BER)	Boltzman [dBW/K/Hz]	228.6000	228.6000
0.001	0.001	=== C/No [dBHz] ===	55.2092	76.7077
Downlink Modulation	Uplink Modulation	Bit Rate [bps]	500000	500000
QPSK	QPSK	Es/No [dB]	-1.7805	19.7180
		BER	1.0000e-03	1.0000e-03
		Es/No @BER [dB]	9.7998	9.7998
		=== Link Margin [dB] ===	-11.5804	9.9182

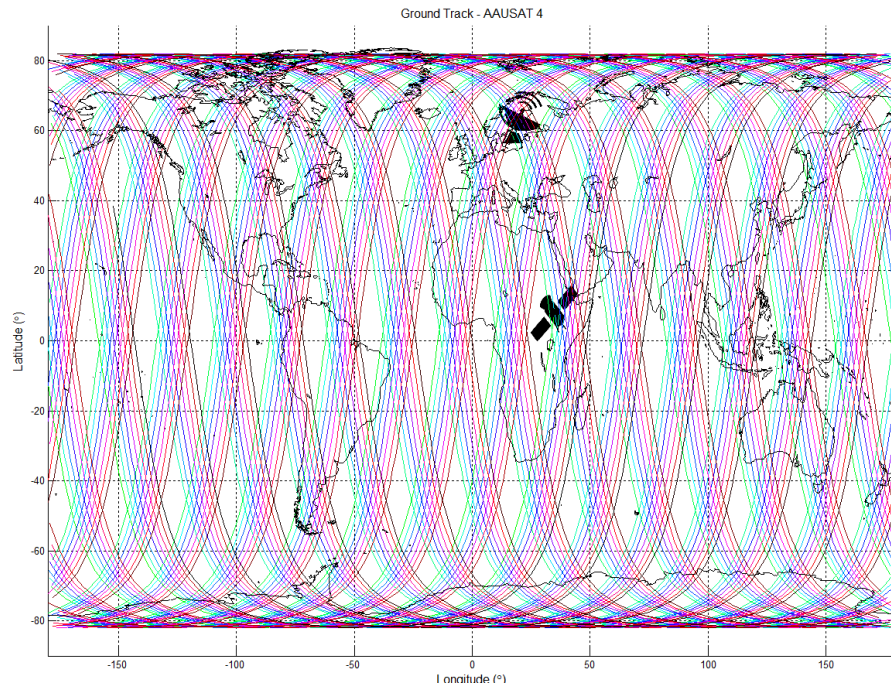
Para esto se ha tenido en cuenta que el ancho del haz de una Cross Yagi a -3dB es de  $14.8^\circ$  [12]. Además, como la antena del satélite es un Crossed Dipole, una antena omnidireccional, el ancho a -3 dB es de  $360^\circ$ .

Los datos obtenidos para el uplink y el downlink son similares. Para el uplink, teníamos una  $\left(\frac{C}{N_0}\right)_\uparrow$  teórica de 82.127 dBHz mientras que en la simulación es de 76.7 dBHz. Por otro lado, para downlink encontrábamos una  $\left(\frac{C}{N_0}\right)_\downarrow$  teórica de 59.277 dBHz y en la simulación de 55.2 dBHz.

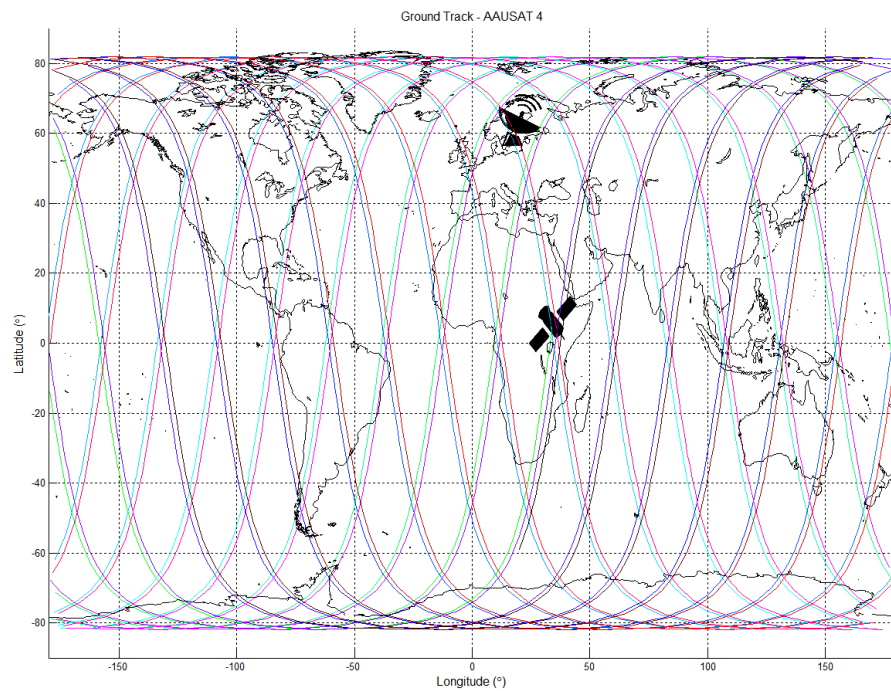
Perdidas de propagación teóricas y simuladas son parecidas. Las teóricas son 153.01 dB y las simuladas, 151.61 dB. Además, en el factor de calidad de las antenas se puede ver que las teóricas son de -24.913 dB para el satélite y -8.913 dB para la estación base. Las simuladas son -26.83 y -10.56 respectivamente.

### 3.4 Cobertura

Por ultimo, la cobertura que ofrece el satélite a lo largo de una semana es la siguiente:



Además, la cobertura para dos días es:



El área de la cobertura que puede brindarnos el satélite se puede calcular con

su altura media, 554.2 km y la distancia máxima utilizada para calcular las pérdidas de propagación, 2441.72 km. El radio de la circunferencia sería el lado del triángulo cuya hipotenusa es la distancia antes nombrada:

$$R = \sqrt{d^2 - h^2} = \sqrt{2441.71^2 - 554.2^2} = 2380.3 \text{ km}$$

El área total sería entonces:

$$A = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot 2380.3^2 = 17798228.35 \text{ km}^2$$

## 4 Conclusión

AAUSat-4 ofrece un servicio de una más barata y de fácil diseño y gracias a su tipo de órbita se evitan problemas de interferencia solar. Además, el servicio que ofrece requiere poco tiempo de acceso al satélite y el despliegue en localizaciones marítimas, lo que nos permite mantener ángulos de elevación pequeños al no tener obstáculos en la propagación. Todo esto nos permite que la distancia a la que puede establecer conexión y los pases donde el tiempo de conexión es pequeño sean útiles para establecer servicio.

Por otro lado, los resultados de la simulación se acercan a los resultados teóricos. Además, en el link margin encontramos que el enlace de bajada es de -11.5 dB. Esto puede verse muy ajustado si se dan algunas condiciones poco favorables como la lluvia o la niebla. Por otro lado, en el enlace de subida tenemos 9.91 dB. Lo ideal sería un link margin de 1 o 2 dB por lo que se pueden reducir las prestaciones del enlace de subida y aumentar algunas prestaciones del enlace de bajada, como la potencia transmitida a la antena del satélite.

## 5 Bibliografía

### References

- [1] <https://spaceflight101.com/spacecraft/ausat-4/>
- [2] [https://www.researchgate.net/figure/Satellite-based-AIS-architecture\\_fig1\\_274545049](https://www.researchgate.net/figure/Satellite-based-AIS-architecture_fig1_274545049)

- [3] <http://www.inpe.br/crn/conasat/arquivos/projetos/AAUSAT/AAUSAT-COM-RadioLink.pdf>
- [4] <http://weebau.com/satellite/A/aausat4.htm>
- [5] [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93rbita\\_helios%C3%ADncrona](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93rbita_helios%C3%ADncrona)
- [6] [http://golkar.scripts.mit.edu/fss/wp-content/uploads/2016/10/UPC\\_Feasibility-of-Nano-Satellites-Constellations-for-AIS\\_mod\\_revAC\\_mod.pdf](http://golkar.scripts.mit.edu/fss/wp-content/uploads/2016/10/UPC_Feasibility-of-Nano-Satellites-Constellations-for-AIS_mod_revAC_mod.pdf)
- [7] <https://www.n2yo.com/satellite/?s=41460>
- [8] <https://www.heavens-above.com/orbit.aspx?satid=41460>
- [9] <https://network.satnogs.org/observations/?norad=41460>
- [10] Aarón Rubio Fernández.(Junio, 2015). Herramienta software para determinar coberturas en un sistema de comunicaciones por satélite. Universidad Carlos III de Madrid. Pg 54. [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23176/TFG\\_Aaron\\_Rubio\\_Fernandez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23176/TFG_Aaron_Rubio_Fernandez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [11] <https://network.satnogs.org/stations/1888/>
- [12] [https://www.classicinternational.eu/\\_clientfiles/folders/20438e.pdf](https://www.classicinternational.eu/_clientfiles/folders/20438e.pdf)