

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de  
Telecomunicación

Simulador en Python para el cálculo de la intensidad  
de campo de la onda ionosférica según la Rec. ITU-R  
P.1147

Autor: Juan Manuel Peláez Pérez

Tutor: Susana Hornillo Mellado

Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

**Simulador en Python para el cálculo de la  
intensidad de campo de la onda ionosférica según la  
Rec. ITU-R P.1147**

Autor:

Juan Manuel Peláez Pérez

Tutor:

Susana Hornillo Mellado

Profesora Contratada Doctora

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado: Simulador en Python para el cálculo de la intensidad de campo de la onda ionosférica  
según la Rec. ITU-R P.1147

Autor: Juan Manuel Peláez Pérez

Tutor: Susana Hornillo Mellado

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A todos los esfuerzos realizados  
a lo largo de este camino*



# Agradecimientos

---

A mis padres, por enseñarme el verdadero sentido de la palabra sacrificio y que, a pesar de las dificultades que se puedan presentar, si algo queremos hay que luchar por ello hasta conseguirlo.

A mi hermano, por guiarme y marcarme cuales eran los pasos correctos durante todas las etapas que llevo pasadas. Aunque el camino haya sido difícil, solo he tenido que pisar tus huellas.

A mi pareja y compañera de estudios, hemos sufrido juntos las mismas dificultades y disfrutado de las mismas alegrías y, sin lugar a dudas, ahora comenzamos juntos otra nueva etapa en la que nos espera lo mejor.

A mis abuelos, por los que están y los que por desgracia no, deberíais de ser eternos. Sé que estaréis brillando aún más.

A mi tutora. Susana, gracias por cada palabra de apoyo y por saber transmitir motivación y ganas de aprender. Tuviste un gran peso en mi decisión de escoger Sistemas y es algo que siempre te agradeceré.

*Juan Manuel Peláez Pérez*

*Sevilla, 2019*



Empleando la recomendación ITU-R P.1147 se realiza un simulador en Python capaz de determinar la intensidad de campo para el rango de frecuencias comprendido de 150 a 1700 kHz. El cálculo de dicha intensidad dependerá de diversos factores como la ubicación de las estaciones, la frecuencia de transmisión o la hora a la que se realice la comunicación.

En primer lugar se realizará un breve repaso histórico sobre cuales fueron los motivos que llevaron a investigar sobre este aspecto sobre este tema. Posteriormente, se explicarán algunos conceptos importantes que se utilizarán en la recomendación y se detallará en profundidad la norma. Acto seguido, se presentará un código en Python capaz de calcular la intensidad de campo, que introduciendo una serie de parámetros básicos a elección de quien haga el diseño devolverá el valor calculado teniendo en cuenta todas las posibles situaciones o posibilidades que puede abarcar dicha recomendación.

Por último, para verificar el funcionamiento del programa se ha realizado una serie de ejemplos analíticos con los que se pretende comparar los resultados que éste nos ofrece y contrastar de este modo el correcto desarrollo del programa.



# Abstract

---

Using the ITU-R P.1147 Recommendation, a Python simulator is used to determine the field strength for the range of frequencies from 150 to 1700 kHz. The calculation of this intensity will depend on several factors such as the location of the stations, the frequency of transmission or the time at which communication takes place.

First, it will commence with a historical review on what were the reasons to research about this subject. Subsequently, some important concepts that will be used in the recommendation will be explained and the norm will be explained in detail too. After, a code in Python be able to calculate the field strength will be presented and introducing a series of basic parameters will return the calculated of the intensity.

Finally, to verify the operation of the program, the same examples are calculate analytically to show the correct execution of the program.



<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xvii</b>
<b>Notación</b>	<b>xix</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 Motivación</b>	<b>3</b>
<b>3 Conceptos Básicos</b>	<b>5</b>
3.1. Capas de la Ionosfera	5
3.1.1 Capa D	5
3.1.2 Capa E	6
3.1.3 Capa F	6
3.2. Densidad de electrones en la Ionosfera	6
3.3. Fuerza cimomotriz	8
3.4. Rango de frecuencias válido	8
3.5. Capas para la transmisión	9
3.6. Declinación magnética	10
<b>4 Recomendación ITU-R P.1147</b>	<b>11</b>
4.1. Ganancia debida a la proximidad del mar	11
4.2. Fuerza cimomotriz	16
4.3. Pérdida por acoplamiento de polarización	17
4.4. Distancia real del trayecto de propagación	17
4.5. Factor de pérdida que incorpora los efectos de la absorción inosoférica y factores conexos	17
4.6. Factor de pérdida horaria	20
4.7. Factor de pérdida que incorpora el efecto de la actividad solar	20
<b>5 Programa en Python</b>	<b>23</b>
5.1. Fichero principal: main.py	23
5.1.1. clicked()	24
5.1.2. callStart(freq, latTX, longTX, latRX, longRX, estacion, ITX, IRX, omni, potRad, Gv, Gh, dulceTX, dulceRX, Go1, marLatTX, marLongTX, seccLatTX, seccLongTX, marLatRX, marLongRX, seccLatRX, seccLongRX)	24
5.2. Fichero secundario: functions.py	25
5.2.1. distance(lat1, long1, lat2, long2)	25
5.2.2. trayectoProp_P(distancia)	25
5.2.3. fuerzaCimo_V(omni, potRad, Gv, Gh)	26
5.2.4. gananProxMar_Gs(freq, distancia, banda, dulceTX, dulceRX, s1TX, s2TX, s1RX, s2RX, Go1)	26
5.2.5. callSome(freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda, distancia, omni, potRad, Gv, Gh, dulceTX, dulceRX, s1TX, s2TX, s1RX, s2RX, Go1)	27
5.3. Fichero secundario: attenuations.py	27

5.3.1.	<i>callAtenuations(p, freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda, estacion, distancia, R, ITX, IRX)</i>	27
5.3.2.	<i>abslonosf_La(p, latTX, longTX, latRX, longRX, distancia)</i>	27
5.3.3.	<i>media_R()</i>	28
5.3.4.	<i>activSolar_Lr(p, freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda, estacion, distancia, R)</i>	28
5.3.5.	<i>acoplaPol_Lp(banda, ITX, IRX, latTX, longTX, latRX, longRX, decTX, decRX)</i>	28
5.3.6.	<i>perdHor_Lt(latTX, longTX, latRX, longRX, distancia, utc_zone)</i>	29
<b>6</b>	<b>Resolución analítica</b>	<b>31</b>
6.1.	<i>Caso 1. Río de Janeiro → Buenos Aires</i>	32
6.2.	<i>Caso 2. Moscú → Tokio</i>	40
6.3.	<i>Caso 3. Jerusalén → Bruselas</i>	46
<b>7</b>	<b>Comparación de resultados</b>	<b>53</b>
7.1.	<i>Caso 1. Río de Janeiro → Buenos Aires</i>	53
7.2.	<i>Caso 2. Moscú → Tokio</i>	55
7.3.	<i>Caso 3. Jerusalén → Bruselas</i>	57
<b>8</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>59</b>
	<b>Referencias</b>	<b>61</b>
	<b>Glosario</b>	<b>63</b>
	<b>Anexo I</b>	<b>65</b>
	<b>Anexo II</b>	<b>67</b>
	<b>Anexo III</b>	<b>69</b>
	<b>Anexo IV</b>	<b>71</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 3-1. Capas de la Ionosfera. [19]	5
Figura 3-2. Concentración de electrones. [18]	7
Figura 3-3. Relación de valores para la fuerza cimomotriz. [26]	8
Figura 3-4. Rango de frecuencias. [2]	9
Figura 3-5. Declinación magnética. [27]	10
Figura 4-1. Ejemplo de situación para el cálculo de la ganancia	12
Figura 4-2. Algunos valores de $r_1$ . [21]	13
Figura 4-3. Algunos valores de $r_2$ . [22]	14
Figura 4-4. Ganancia debida a la proximidad del mar. [23]	15
Figura 4-5. Relación de valores para la fuerza cimomotriz. [26]	16
Figura 4-6. Valores para la latitud geomagnética. [24]	18
Figura 4-7. Valores para el coeficiente de pérdida básico. [25]	19
Figura 5-1. Ejemplo gráfico para el círculo máximo. [20]	25
Figura 6-1. Ubicación del primer caso	32
Figura 6-2. Ubicación del segundo caso	41
Figura 6-3. Ubicación del último caso	46
Figura 7-1. Datos de entrada. Caso 1-a	53
Figura 7-2. Datos de salida. Caso 1-a	54
Figura 7-3. Datos de entrada. Caso 1-b	54
Figura 7-4. Datos de salida. Caso 1-b	55
Figura 7-5. Datos de entrada. Caso 2-a	55
Figura 7-6. Datos de salida. Caso 2-a	55
Figura 7-7. Datos de entrada. Caso 2-b	56
Figura 7-8. Datos de salida. Caso 2-b	56
Figura 7-9. Datos de entrada. Caso 3-a	57
Figura 7-10. Datos de salida. Caso 3-a	57
Figura 7-11. Datos de entrada. Caso 3-b	57
Figura 7-12. Datos de salida. Caso 3-a	58



# Notación

---

TX	Transmisor
RX	Receptor
<	Menor
>	Mayor
≤	Menor o igual
≥	Mayor o igual
°	Grados
π	Valor pi
sen	Función seno
cos	Función coseno
tg	Función tangente
arcsen	Función arco seno
arctg	Función arco tangente
sin <sup>x</sup> y	Función seno de y elevado a x
cos <sup>x</sup> y	Función coseno de y elevado a x
TX	Transmisor
RX	Receptor
<	Menor
>	Mayor
≤	Menor o igual
≥	Mayor o igual
°	Grados
π	Valor pi
sen	Función seno
cos	Función coseno
tg	Función tangente
arcsen	Función arco seno



# 1 INTRODUCCIÓN

---

Las primeras aportaciones registradas en referencia al electromagnetismo y que relacionan en parte la existencia de regiones ionizadas las realiza en 1839 el físico y matemático Carl Friedrich Gauss [15], dejando la puerta abierta a futuras investigaciones y, como no podía ser de otra forma, éstas se produjeron de manera temprana.

Sin embargo, no fue hasta principios del siguiente siglo, en 1902, cuando se nombra por primera vez la existencia de una capa, la cual era responsable de las recepciones de ondas electromagnéticas a largas distancias, de la mano de Arthur E. Kennelly y Oliver Heaviside [15], que a priori se suponía imposible que se produjeran por el simple hecho de que no existía visibilidad directa debido a la curvatura de la Tierra, realizando ambos dicha investigación de manera independiente y despertando una enorme curiosidad por descubrir nuevos acontecimientos relacionados con el tema.

El primer experimento con el fin de realizar mediciones de la capa se produjo en Londres en el año 1925 de la mano de Appleton y Barnett [14], el cual constaba en la transmisión de una onda continua y a partir de la formación de interferencias constructivas y destructivas pudieron aproximarse a la obtención de su altura y la nombraron como Capa Eléctrica, o Capa E, mas comúnmente conocida en la actualidad destacando además por ser la primera en ser descubierta.

Investigaciones posteriores permitieron descubrir la existencia de una capa anterior y posterior a ésta en cuanto a cercanía a la Tierra, siendo nombradas como Capa D y Capa F respectivamente, las cuales poseen características distintas en función de diversas circunstancias, como pueden ser el momento del día o incluso el momento del año debido a que depende en gran medida de la actividad solar que posea el Sol, por lo que la estación del año juega un papel muy importante por la cercanía de la Tierra al Sol, entre otras.

Dicho descubrimiento supuso un avance importante en cuanto a las comunicaciones se refiere, otorgando de nuevas posibilidades a las investigaciones en curso relacionadas con dicho tema y dando pie a nuevos experimentos que pudieran hacer uso de aquello. Hoy en día, pasados unos cien años, aún se sigue usando dicho mecanismo para las transferencias de datos, por lo que, sin duda, supuso un descubrimiento muy importante y que ha dado pie a descubrimientos futuros.



## 2 MOTIVACIÓN

---

**M**uy a menudo, y ahora más tras la elección de este proyecto me hago una pregunta, ¿por qué esquivar el futuro? Quizás este sea uno de los principales motivos de mi elección ya que cada día damos un paso más hacia la digitalización en todos los sentidos, y sobre todo en temas relacionados con la tecnología y telecomunicaciones.

Sin embargo, también tengo que reconocer que en mi elección jugó un papel importante el reto que supuso a nivel personal elegir aquel tema que durante toda la carrera peor me había desenvuelto. ¿Era el momento de ponerme a prueba o quizás era el momento de una elección fácil? Sin lugar a dudas, entendí que era el momento de ver lo que era capaz de ofrecer y opté por la primera opción, la de aprender un lenguaje nuevo que durante todo el grado no había estudiado. Lograr este objetivo no solo sirve para acabar esta carrera de fondo, sino que a nivel personal puede abrirme puertas futuras, y como bien se menciona al principio, la programación es el futuro y puede hacer que me decante por ofertas futuras relacionadas con este tema que quizás, sin la elección de este trabajo, hubiera dudado más o directamente rechazado.

Quizás, en un futuro no muy lejano, otro alumno con las mismas dudas que yo lea mi proyecto y gracias a él se pueda decantar por la opción que a priori parece más difícil pero que sin duda, en el futuro le ofrecerá mejores oportunidades porque algo de lo que no tengo la menor duda es que todo camino recorrido te ofrece su recompensa pero, mayor recompensa se obtendrá si éste es difícil y uno de los mayores frutos que puedes obtener de las dificultades es que tras superarlas el nivel de confianza depositada en uno mismo crece y te hará hacer cosas que creías que nunca serías capaz de realizar.

Otro motivo que ayudó a decantarme por dicho proyecto es uno de mis temas favoritos, la astronomía. Desde pequeño siempre quise estudiar astronomía, sin embargo, conforme vamos creciendo tenemos que tomar decisiones que a priori creemos que será mejor para el futuro. Siempre espero con ganas cualquier avance descubierto en este ámbito y quizás parezca que no tiene mucha relación, pero el simple hecho de tratar con capas atmosféricas y tenerlas que estudiar con mayor profundidad de la que se pueda hacer en una lectura hizo también que me decantara por este trabajo y gracias a esta elección he aprendido un poco más sobre algo relacionado con el espacio.



## 3 CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación se detallan una serie de conceptos básicos que ayudarán a entender con mayor detalle todos los puntos teóricos en los que se apoya dicha recomendación [10] y para los que se aconseja su previa lectura antes de adentrarnos de lleno en la explicación de la norma.

### 3.1 Capas de la Ionosfera

La ionosfera está compuesta por diversas capas [11] que poseen características distintas en función de la cercanía a la Tierra o, en su defecto, de la cercanía al Sol, las cuales se explican a continuación.

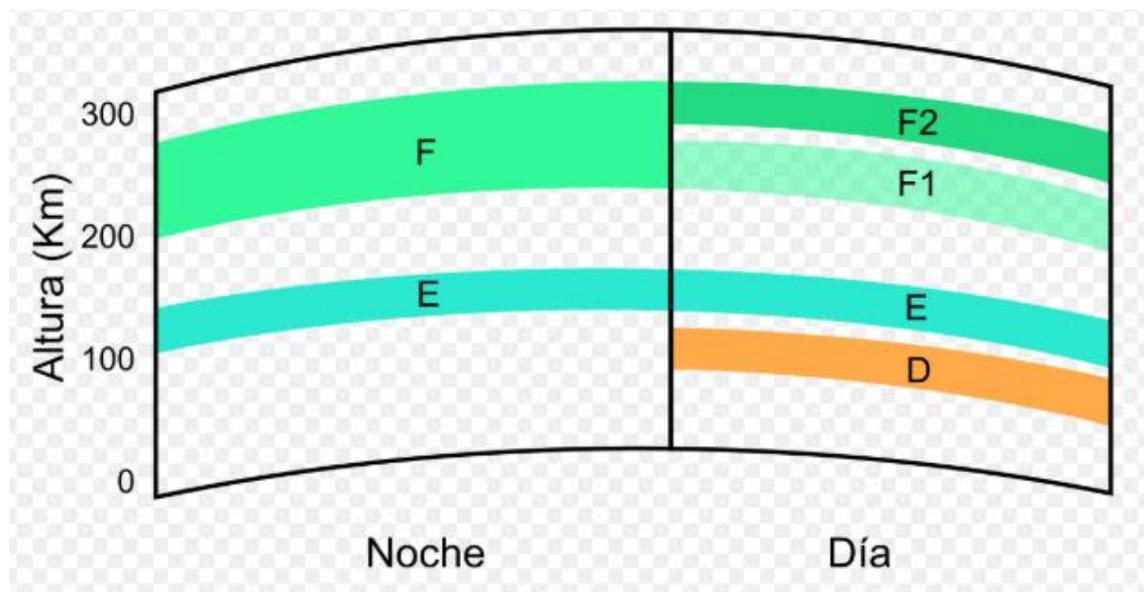


Figura 3-1. Capas de la Ionosfera. [19]

#### 3.1.1 Capa D

Destaca por ser la más próxima a la Tierra. Esta capa abarca desde los 60 hasta los 90 km de distancia con respecto a la superficie terrestre aproximadamente. Es una capa crítica en cuanto a comunicaciones se refiere ya que, al ser muy absorbente, limita mucho la comunicación, aunque también dependerá de la sensibilidad del receptor.

Destaca también por ser una capa diurna, es decir, únicamente aparece de día ya que en ausencia del Sol desaparece.

### 3.1.2 Capa E

La Capa Eléctrica, o también denominada Capa E, es la capa en la que se apoya nuestra recomendación para posibilitar la comunicación tras rebotar la onda en ella. Fue la primera en ser descubierta y destaca por situarse en un punto intermedio de la Ionosfera, abarcando desde los 90 hasta los 140 km de la superficie terrestre aproximadamente. A diferencia de la anterior, esta capa está presente durante todo el día y toda la noche.

### 3.1.3 Capa F

Se caracteriza por ser la capa más elevada que podemos encontrar en la Ionosfera abarcando desde los 140 hasta los 300 km aproximadamente y variando enormemente su comportamiento entre el día y la noche. Durante el día, debido a que es la más próxima al Sol y por la cantidad de partículas que posee, la incidencia directa con el Sol hace que dichas partículas se ionicen y permitan la aparición de dos capas, llamadas F1 y F2. Por la noche y en ausencia del Sol, ambas capas se unifican recibiendo el nombre de Capa F.

## 3.2 Densidad de electrones en la Ionosfera

La Ionosfera está compuesta por un conjunto de capas que varían en función de la altura, y en función de ésta, también se podría realizar otra división según la cantidad de partículas libres que existe en cada capa.

La Ionosfera se compone en su gran mayoría por un conjunto de partículas eléctricamente neutras y que cuando la radiación ultravioleta procedente del Sol incide sobre ellas, éstas se ionizan y liberando electrones, que son precisamente las partículas que afectan a las ondas de radio. Como se puede imaginar, a mayor altura, mayor incidencia del Sol sobre estas partículas, lo cual implica que existan una mayor concentración de electrones en las capas superiores [16] y, por lo tanto, tiene sentido que sean las capas más alejadas de la superficie terrestre las que permanezcan de noche debido a que cuando el Sol deja de incidir sobre ellas, aún la concentración de electrones sigue siendo alta como para que permanezca la capa, no ocurriendo lo mismo con la capa D, la más cercana a la superficie.

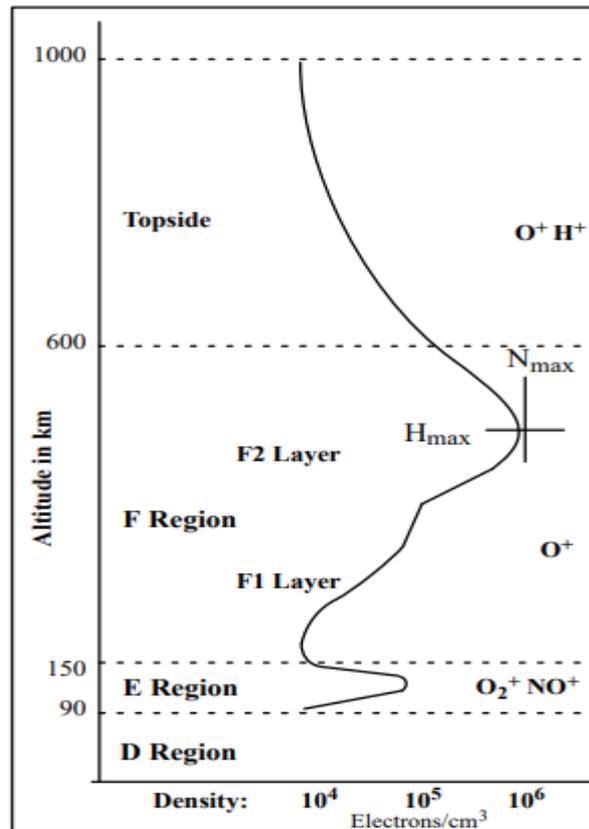


Figura 3-2. Concentración de electrones. [18]

Otro factor a destacar es que el número de electrones que se liberan en la Ionosfera depende del ciclo solar [3], es decir, un ciclo solar tiene una duración de 11 años, y durante éste, se producen más o menos manchas solares, que no son más que una mayor liberación por parte del Sol de radiación ultravioleta y que afecta de manera directa a nuestras capas, por lo tanto, cuantas más manchas solares se produzcan mayores concentraciones de partículas libres se tendrán y, por lo tanto, mayores beneficios para las comunicaciones ya que las capas estarán compuestas por más electrones y podrían ser más robustas. Por lo tanto, se podría afirmar que, debido a la dependencia del Sol, la Ionosfera varía de forma sincrónica con los ciclos solares [16], teniendo su importancia también en las frecuencias que se pueden usar en función del punto en el que se encuentre el ciclo solar, es decir, cuando el número de manchas solares es bajo, a medida que aumenta la frecuencia deja de tener efecto en la Ionosfera y no podría rebotar en ella, sin embargo, cuando el ciclo se encuentra en su pico máximo, incluso frecuencias de la banda VHF podrían ser usadas para este tipo de comunicaciones.

Por lo tanto, hay varios factores a tener en cuenta cuando se quiera realizar un diseño para este tipo de comunicación, y es que no solo hay que mirar la hora para la transmisión o la estación del año en la que nos encontremos, sino el momento del ciclo solar por el que se esté pasando, ya que el número de manchas solares variará en función de ello, y con esto, el rango de frecuencias más conveniente a usar.

### 3.3 Fuerza Cimomotriz (f.c.m.)

La fuerza cimomotriz es un vector que puede considerarse como el producto de la intensidad del campo eléctrico en un punto por la distancia que separa dicho punto con la antena transmisora, expresándose en voltios [9]. Existe una relación entre la *f.c.m.* y la *p.r.a.v.*, la cual se indica a continuación:

$$p.r.a.v. = \left( \frac{f.c.m.}{300} \right)^2 (kW) \quad (3-1)$$

Las curvas dibujadas a lo largo de toda la recomendación han sido trazadas para una *p.r.a.v.* de 1 kW, lo cual implica una *f.c.m.* de 300 V, por lo que de esta forma se tiene una potencia en el transmisor de 1 kW, como se puede ver en la siguiente imagen.

Potencia del transmisor (kW)	Antena	Ganancia con relación a una antena vertical corta (dB)	f.c.m. (V)	f.c.m. (dB (300V))	p.r.a.v. (kW)
0,01	} vertical corta	0	30	-20	0,01
0,1		0	95	-10	0,1
1		0	300	0	1
10		0	950	+10	10
100	} vertical λ/2	2	3 800	+22	160
300		2	6 600	+27	475
1 000		2	12 000	+32	1 600

Figura 3-3. Relación de valores para la fuerza cimomotriz. [26]

Puesto que la recomendación especifica que se tome como valor de referencia 300 V en la fuerza cimomotriz, implica que la potencia del transmisor tiene un valor de 1 kW, por lo que se toma como punto de partida estos valores, no siendo necesario especificarle una potencia radiada al transmisor distinta de cero, en caso de que se tome los valores de referencia anteriormente explicados.

### 3.4 Rango de frecuencias válido

No todas las frecuencias permiten la posibilidad de obtener una reflexión satisfactoria en la Ionosfera, siendo un rango no demasiado elevado el que sí. En particular, para nuestro caso, emplearemos frecuencias que se dividirán en dos rangos consiguiendo de esta forma trabajar en dos bandas distintas, denominándose la primera como banda de ondas kilométricas a las frecuencias que pertenecen al rango que abarca desde 150 a 300 kHz, y para el resto, es decir, desde los 300 a 1700 kHz, se denominará banda de ondas hectométricas.

Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente
ULF	300-3 000 Hz	Ondas hectokilométricas
VLF	3-30 kHz	Ondas miriamétricas
LF	30-300 kHz	Ondas kilométricas
MF	300-3 000 kHz	Ondas hectométricas
HF	3-30 MHz	Ondas decamétricas
VHF	30-300 MHz	Ondas métricas
UHF	300-3 000 MHz	Ondas decimétricas
SHF	3-30 GHz	Ondas centimétricas
EHF	30-300 GHz	Ondas milimétricas
	300-3 000 GHz	Ondas decimilimétricas
	3-30 THz	Ondas centimilimétricas
	30-300 THz	Ondas micrométricas
	300-3 000 THz	Ondas decimicrométricas

Figura 3-4. Rango de frecuencias. [2]

### 3.5 Capas para la transmisión

Llegados a este punto, y tras conocer que la Ionosfera está compuesta por tres capas, nos podemos hacer la siguiente pregunta, ¿qué capa es la más idónea para emplear cuando se quiera hacer uso de ellas?

Como ya se sabe, estas capas están formadas por partículas que son ionizadas gracias a la radiación emitida por el Sol y que, en función de su actividad solar y de otros motivos como las condiciones meteorológicas, las capas son más o menos compactas, lo cual hace que la comunicación sea más o menos efectiva, respectivamente. Estas capas actúan de espejo cuando están presentes para las ondas electromagnéticas que choquen sobre ellas.

La capa D es la más cercana a la superficie terrestre y a la vez la menos favorable para su uso, aunque depende en gran medida de la frecuencia empleada. Para nuestro caso es imposible usarla puesto que es totalmente absorbente para las frecuencias inferiores a 10 MHz [12].

Para las restantes, las capas E y F, si se quiere hacer uso de ellas, se debe realizar la transmisión durante la noche para poder esquivar la presencia de la capa D. A mayor frecuencia, mayor capacidad de penetración de la señal, por lo que si se quiere emplear la capa F se debe usar una frecuencia capaz de atravesar la capa E, y por el contrario, si se quiere usar la capa E se debe usar una frecuencia que no la atraviese, y por lo tanto, menor que la del caso anterior.

Cuanto mayor sea la altura a la que reflejemos la señal, mayor será el punto que se puede alcanzar, pero con un coste mayor, puesto que tendremos que usar mayor potencia en la señal para ser capaz de atravesar la capa E (suponiendo en este caso el empleo de la capa F para obtener el máximo alcance) y llegar al receptor con suficiente potencia para que pueda ser diferenciada de ruido.

### 3.6 Declinación magnética

La Tierra, debido a los componentes que conforman su núcleo, crea un campo magnético en su interior provocando la creación de dos polos [27], el Polo Norte y el Polo Sur, como si se tratara de un imán.

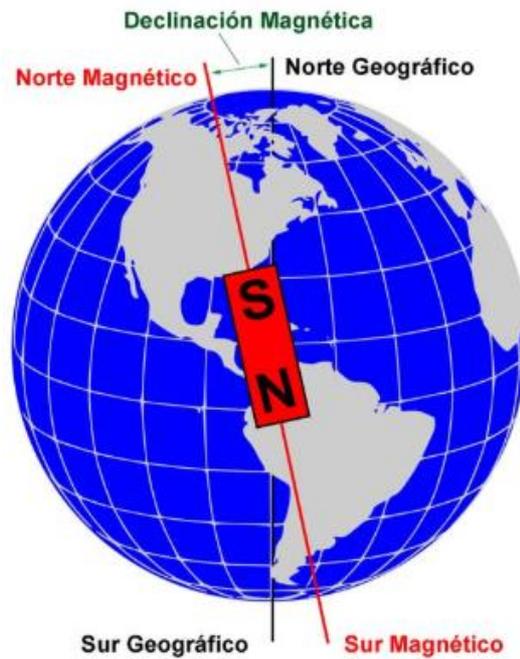


Figura 3-5. Declinación magnética. [27]

Este hecho conlleva a que el Norte Geográfico no coincida exactamente con el Norte Magnético, como bien se puede apreciar en la imagen, apareciendo de esta forma una variable llamada declinación magnética que medirá la diferencia existente entre los dos polos, y que no tendrá un valor fijo, ya que dependerá desde que ubicación se esté midiendo. Además, como la declinación depende directamente del campo magnético de la Tierra y éste varía, es un valor que puede sufrir cambios con el paso del tiempo.

# 4 RECOMENDACIÓN ITU-R P.1147

---

**T**ras la explicación de los conceptos básicos se pasa a explicar todos los puntos de los que consta la recomendación y que se deberán usar para su correcto entendimiento y posterior cálculo.

## 4.1 Ganancia debida a la proximidad del mar

Como ya se sabe, la presencia cercana de agua cuando se pretende realizar una comunicación provoca que dichas ondas reflejen en el agua y puedan tener incluso un alcance mayor de lo que hubieran tenido en caso de que ésta no estuviera presente.

Esta parte de la norma pretende calcular cual es la ganancia que se produce cuando existe agua cerca de las estaciones, lo cual beneficia en gran medida a la comunicación, puesto que la ganancia se vería aumentada. Sin embargo, solo se calculará cuando el agua cercana sea salada, ya que dicha recomendación no se aplica sobre agua dulce.

Hay que destacar un aspecto clave para nuestro cálculo y es que éste solo afectará a la comunicación siempre y cuando el mar se encuentre sobre la línea imaginaria que une a ambas estaciones, es decir, aún teniendo agua en los alrededores de las estaciones, siempre y cuando dicha agua no sea atravesada por la línea que une a ambos terminales no se aplicará, puesto que esa es la dirección en la que interesa la comunicación, siendo totalmente indiferente cualquier otra dirección, incluso aunque el agua en otra dirección estuviera más cerca. Una situación favorable para el cálculo de esta ganancia puede ser la siguiente.

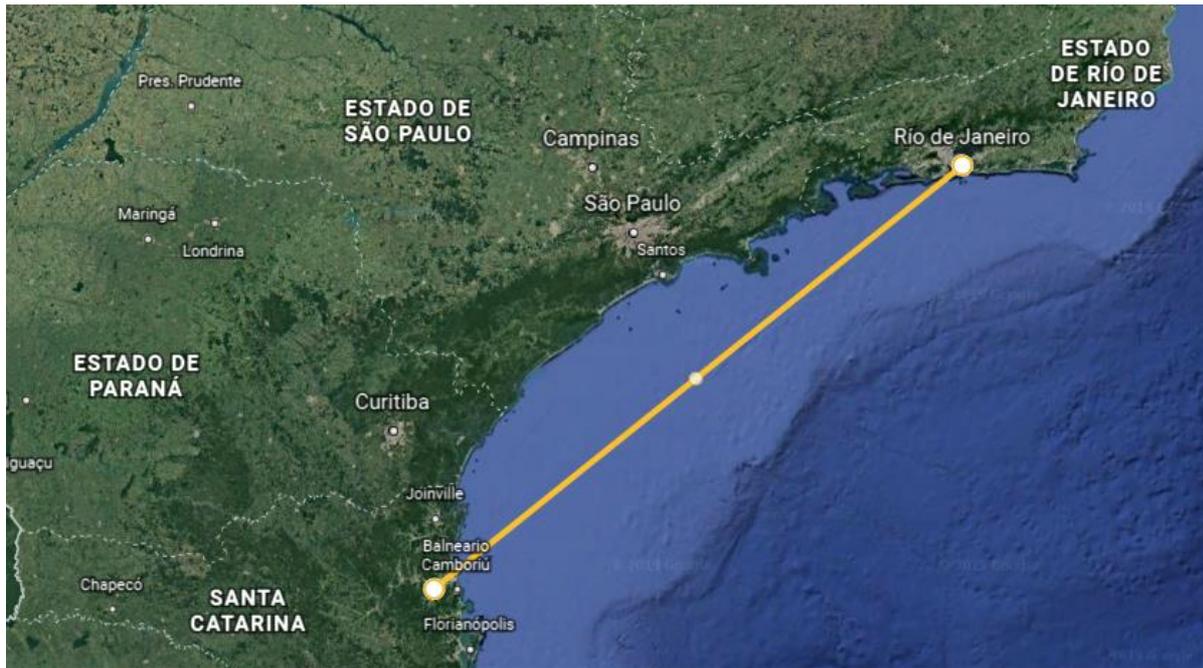


Figura 4-1. Ejemplo de situación para el cálculo de la ganancia.

Como se puede apreciar, la línea que une ambas estaciones está sobre agua, y además, el agua es salada puesto que en este caso se trata del Océano Atlántico.

Para el cálculo de la ganancia se hace imprescindible calcular previamente dos distancias para cada estación,  $s_1$  y  $s_2$ , siendo éstas la distancia desde el nodo hasta el mar y la distancia desde el nodo hasta la siguiente sección de tierra, pero ambas distancias calculadas sobre la línea que une ambas estaciones y es aquí el motivo principal por la que dicha ganancia no se aplica si hay mar en los alrededores pero no sobre esta línea, ya que estas distancias se están calculando empleando dicho procedimiento, por lo que el no tenerlo en cuenta dejaría de tener sentido el cálculo. Los puntos a partir de los cuales de calcula  $s_1$  y  $s_2$  se especifican en el mismo formato en el que se introduce las ubicaciones de las estaciones.

Como se puede intuir, dicha norma no es aplicable en todas las situaciones ya que debe estar dentro de unos límites teóricos que hagan viable el cálculo y que tenga sentido. Para ello, se realiza la obtención de dos variables,  $r_1$  y  $r_2$ .

$$r_1 = 10^3 * \left( \frac{G_0^2}{q_1 * f} \right) (km) \quad (4-1)$$

$$r_2 = 10^3 * \left( \frac{G_0^2}{q_2 * f} \right) (km) \quad (4-2)$$

Siendo:

$G_0$ : ganancia debida a la proximidad del mar cuando la estación se encuentra cerca de la costa (dB).

$f$ : frecuencia de transmisión empleada (kHz).

$q_1$ : constante con valor de 0.3 en ondas kilométricas y 1.4 en ondas hectométricas.

$q_2$ : constante con valor de 0.25 en ondas kilométricas y 1.2 en ondas hectométricas.

En las siguientes imágenes se puede apreciar diferentes valores tanto de  $r_1$  como de  $r_2$  para algunas frecuencias, en función de la distancia expresada en kilómetros en ambos casos.

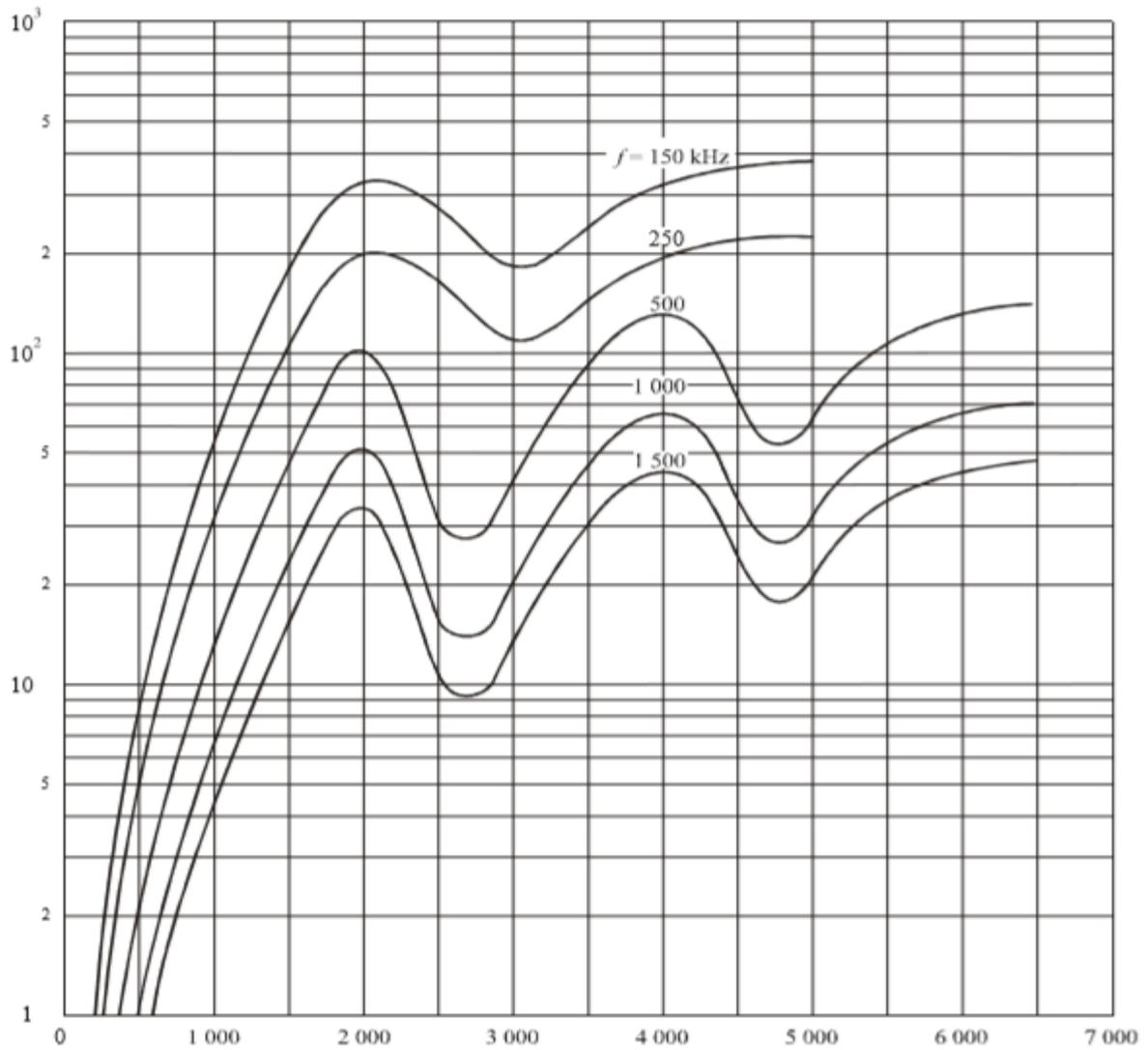


Figura 4-2. Algunos valores de  $r_1$ . [21]

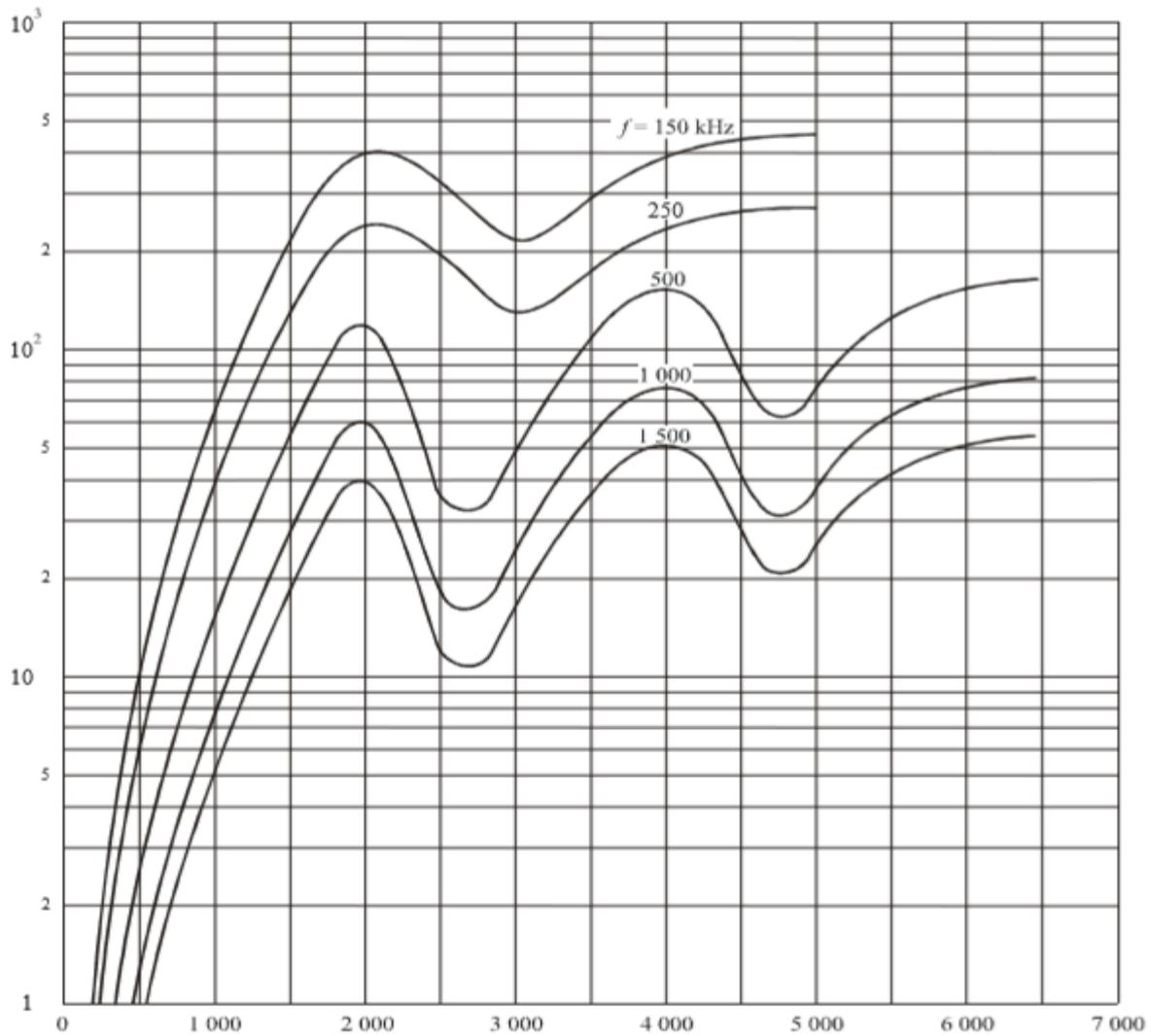


Figura 4-3. Algunos valores de  $r_2$ . [22]

Dependiendo del caso con el que se esté trabajando, el valor de  $G_0$  estará previamente definido o no. Cuando la distancia de separación entre las estaciones sea superior a 6500 km y se esté trabajando con ondas hectométricas,  $G_0 = 10$  dB. El otro caso es cuando la distancia de separación entre éstas sea superior a 5000 km y estemos en ondas kilométricas, entonces  $G_0 = 4.1$  dB. Solo en el caso en el que no se cumpla ninguna de estas dos condiciones se debe de especificar el valor de dicha variable. En la siguiente imagen se puede apreciar los distintos valores que toma  $G_0$  en función de la distancia entre nodos y la banda de trabajo empleada, donde la *A* hace referencia a la Banda de Ondas Hectométricas y la *B* a la Banda de Ondas Kilométricas.

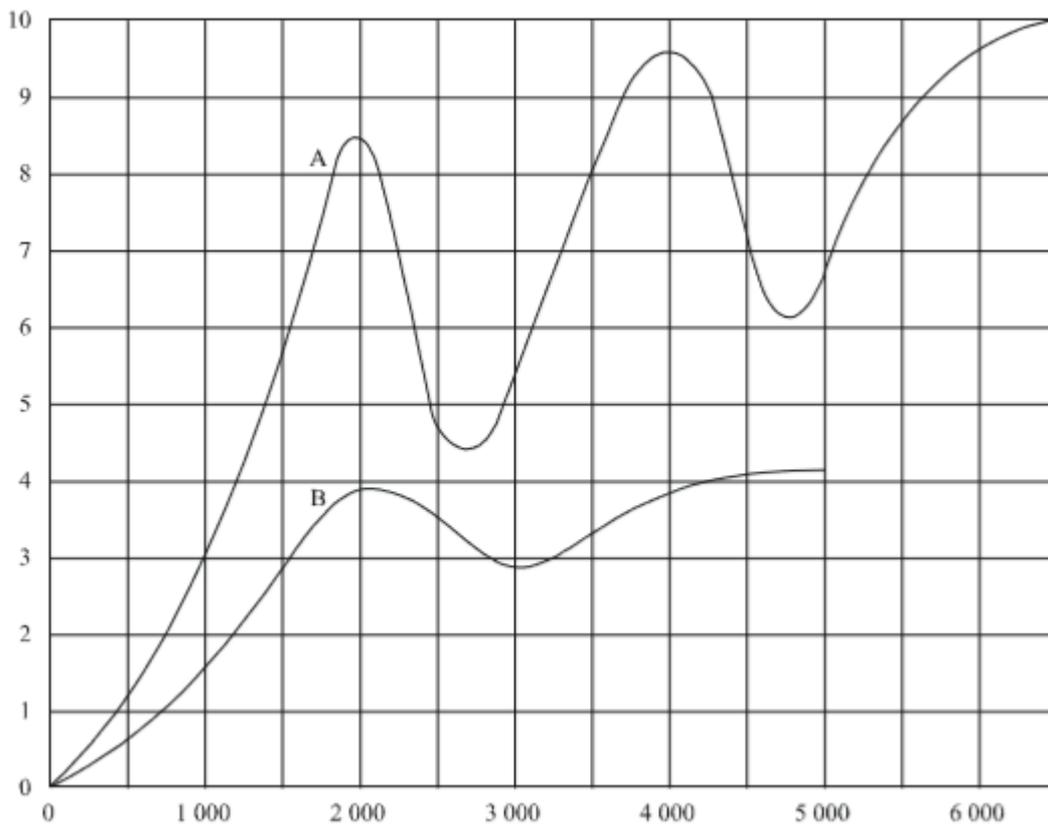


Figura 4-4. Ganancia debida a la proximidad del mar,  $G_0$ . [23]

Cuando  $r_1 > s_1$  se puede continuar con el cálculo de la ganancia, careciendo el caso contrario de sentido y finalizando el procedimiento en este punto. El siguiente paso es obtener dos correcciones,  $c_1$  y  $c_2$ , las cuales hacen referencia a las distancias  $s_1$  y  $s_2$  anteriormente calculadas.

$$c_1 = G_0 * \frac{s_1}{r_1} \tag{4-3}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= \alpha * \left(1 - \frac{s_2}{r_2}\right) && \text{para } s_2 < r_2 \\ c_2 &= 0 && \text{para } s_2 \geq r_2 \end{aligned} \tag{4-4}$$

Donde  $\alpha$  hace referencia a la proporción de tierra existente en el trayecto en el que se calcula  $r_2$  y  $s_2$  y perteneciendo al rango  $0 < \alpha \leq 1$ , pero para nuestro caso tomará un valor de 0.5 ya que se carece de datos realtivos al terreno sobre el que se trabajará.

Por último, solo nos falta calcular la ganancia final que se produce, para lo cual:

$$\begin{aligned} G_s &= G_0 - c_1 - c_2 && \text{para } (c_1 + c_2) < G_0 \\ G_s &= 0 && \text{para } (c_1 + c_2) \geq G_0 \end{aligned} \tag{4-5}$$

Hay que destacar que todo este procedimiento hay que realizarlo por separado para cada estación, es decir, tanto para transmisor como para receptor y la ganancia total devuelta sería la suma de las dos obtenidas en decibelios.

## 4.2 Fuerza cimomotriz

Como bien se ha explicado en el punto 3.2, la fuerza cimomotriz es un vector que depende de la intensidad del campo eléctrico por la distancia que separa dicho punto de la antena transmisora. En nuestro caso, y para el cálculo de dicha variable, dependerá del tipo de antena que sea el transmisor, diferenciando los casos donde sea omnidireccional o no, y por lo tanto, separando los casos en los que la ganancia horizontal se toma como nula o no, respectivamente.

Para la determinación de este parámetro se usará la siguiente fórmula:

$$V = PotRad + G_h + G_v \text{ (dB(300V))} \quad (4-6)$$

Siendo:

*PotRad*: potencia radiada por parte del transmisor (dB(1kW))

*G<sub>h</sub>*: ganancia horizontal de la antena transmisora (dB)

*G<sub>v</sub>*: ganancia vertical de la antena transmisora (dB)

Hay que destacar que la potencia radiada se especificará en decibelios por encima del valor de referencia (dB(1kW)), es decir, si tomamos el valor de referencia especificado en la recomendación, siendo éste de 300 V, se estaría especificando un valor de potencia radiada distinto de cero, pero al tener que indicar dicho valor en unidades por encima del de referencia, se puede considerar como nulo dicho parámetro para el cálculo aunque realmente no lo fuese, y por tanto, se tendría un valor de fuerza cimomotriz (dB(kW)) nulo, por lo que no intervendría en el cálculo, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

Potencia del transmisor (kW)	Antena	Ganancia con relación a una antena vertical corta (dB)	f.c.m. (V)	f.c.m. (dB (300V))	p.r.v. (kW)
0,01	} vertical corta	0	30	-20	0,01
0,1		0	95	-10	0,1
1		0	300	0	1
10		0	950	+10	10
100	} vertical λ/2	2	3 800	+22	160
300		2	6 600	+27	475
1 000		2	12 000	+32	1 600

Figura 4-5. Relación de valores para la fuerza cimomotriz. [26]

### 4.3 Pérdida por acoplamiento de polarización

Otro de los tipos de atenuaciones que podemos sufrir con este tipo de transmisiones es debido a la polarización, sin embargo, se simplifica mucho el procedimiento para el cálculo. Puesto que es una variable que dependerá de valores como la inclinación magnética y el acimut del trayecto respecto a la dirección este-

Oeste en grados, se deberá de calcular por separado para ambas estaciones, ya que estos parámetros tendrán valores distintos tanto para el transmisor como para el receptor, dependiendo de la ubicación en la que éstos se encuentren. En el caso en el que se trabaje en la banda de ondas kilométricas, la atenuación se anula. Cuando se trabaje en la banda de ondas hectométricas, se tendrán los siguientes casos:

$$\begin{aligned} L_p &= 180 * (36 + \theta^2 + I^2)^{-0.5} - 2 & \text{para } I \leq 45^\circ \\ L_p &= 0 & \text{para } I > 45^\circ \end{aligned} \quad (4-7)$$

Para obtener los valores tanto de la inclinación como del acimut del trayecto se usan las gráficas situadas en el *Anexo II*, los cuales dependen de la ubicación de cada antena. Una vez se han calculado estos datos para ambos nodos, el resultado final será la suma de ambos, en decibelios.

### 4.4 Distancia real del trayecto de propagación

Internamente, además de la distancia que se calcula como separación entre los nodos, la función hace uso de otra distancia que tomará dos posibles valores en función del valor que separa a ambas estaciones, en kilómetros.

$$\begin{aligned} p &= \text{distancia} & \text{para } \text{distancia} > 1000 \\ p &= (\text{distancia}^2 + 40000)^{1/2} & \text{para } \text{distancia} \leq 1000 \end{aligned} \quad (4-8)$$

### 4.5 Factor de pérdida que incorpora los efectos de la absorción inosoférica y factores conexos

Como bien se ha explicado en 3.1, la Ionosfera es un conjunto de capas que varían en función del momento del día, o más bien, en función de la incidencia directa del Sol con éstas. Por ese motivo, y al tener partículas que se pueden ionizar, la onda que pretende rebotar en dichas capas puede sufrir mayor o menor atenuación en función de las capas que se encuentren presentes en el momento del impacto, por lo que la elección del momento de la comunicación mediante este procedimiento resulta clave para que se pueda realizar de manera satisfactoria.

Una medida de todas las pérdidas que se pueden dar en relación a estos fenómenos es lo que se pretende calcular justo en este punto, por lo que ya se puede intuir que se trata de un apartado de enorme relevancia en el resultado final de la intensidad que se intenta calcular.

Para comenzar a trabajar con este punto hay que diferenciar dos posibles situaciones, las cuales tienen que ver con la distancia entre las estaciones, estando por un lado aquellas donde sea mayor que 3000 km y aquellas en las que no. En función de eso, el trayecto de separación entre los nodos se dividirá en dos partes iguales o se mantendrá en uno solo, y dependiendo de esa circunstancia, se deberá calcular una o dos latitudes

geomagnéticas (la cual hace referencia al punto medio de cada trayecto),  $\Phi$ , de la siguiente forma:

$$\Phi = \sin^{-1}[\sin \alpha * \sin(78.5^\circ) + \cos \alpha * \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + \beta)] \text{ (}^\circ\text{)} \tag{4-9}$$

Siendo:

$\alpha$ : latitud geográfica del punto medio en cuestión (°)

$\beta$ : longitud geográfica del punto medio en cuestión (°)

En función de la posible separación anterior, se calculará  $\Phi$  en cada punto medio de cada trayecto. A continuación se muestra una imagen donde se puede apreciar los distintos valores que toma  $\Phi$  en función de la ubicación, estando ambos ejes en grados.

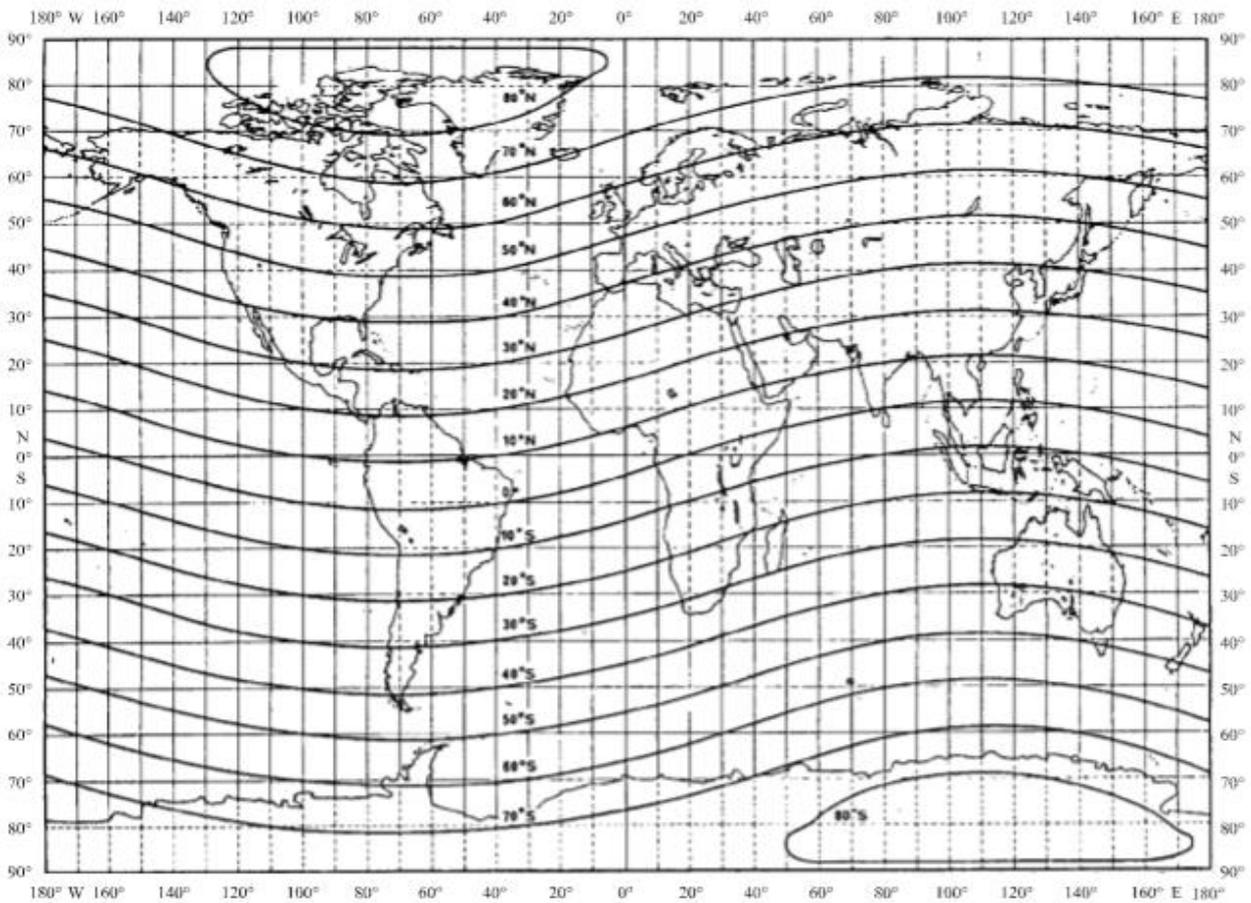


Figura 4-6. Valores para la latitud geomagnética. [24]

Sin embargo, se realiza una aproximación del valor de  $\Phi$ , es decir, cuando  $\Phi > 60^\circ$ ,  $\Phi = 60^\circ$  y cuando  $\Phi < -60^\circ$ ,  $\Phi = -60^\circ$ .

El siguiente paso es calcular el coeficiente de pérdida básico,  $k$ , para el cual hay que señalar que se tiene que calcular tantos como número de trayectos en los que se haya dividido el recorrido que separa a ambas estaciones, y para éste hay que usar la siguiente expresión:

$$k = 2\pi + 4.95 * \tan^2 \Phi \quad (4-10)$$

Mediante la siguiente gráfica podemos apreciar el rango de valores que puede abarcar, dependiendo directamente del valor de  $\Phi$  en grados, como bien se puede apreciar en (6-9).

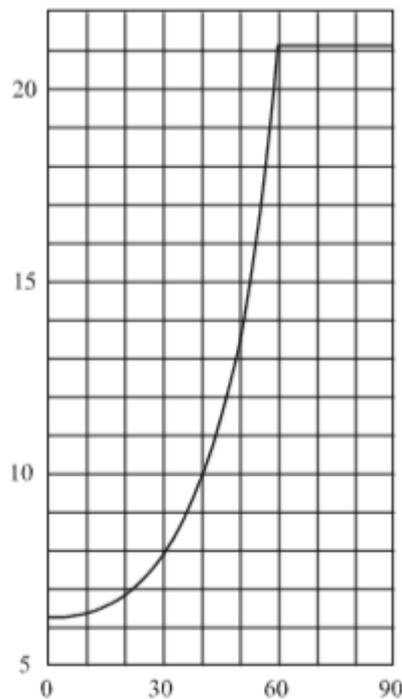


Figura 4-7. Valores para el coeficiente de pérdida básico. [25]

En el caso en el que se haya calculado dos coeficientes de pérdida básicos,  $k_1$  y  $k_2$ , se debe hacer una media entre ambos valores para poder calcular la atenuación sufrida. Para el caso donde solo tengamos un valor se puede usar directamente en la siguiente expresión:

$$L_a = k * \sqrt{\frac{p}{1000}} \quad (dB) \quad (4-11)$$

## 4.6 Factor de pérdida horaria

Como se ha comentado en puntos anteriores, la hora de transmisión es el factor clave a tener en cuenta cuando se emplea la ionosfera como método de transmisión, pudiendo hacer que ésta no se realice de forma efectiva si se lleva a cabo en momentos en los que el sol está presente. Aún no estando presente, si estamos cerca de que se produzca tanto el amanecer como el anochecer, o si hace poco que se produjo alguno de estos dos se producen unas pérdidas que hay que tenerlas en cuenta y que dependen en gran medida de la zona en la que se pretenda transmitir y del punto medio del trayecto, ya que en cada punto tendremos una hora distinta debido al uso horario correspondiente que posea esa ubicación y de la hora de amanecer y anochecer.

Para tener en cuenta todo lo anterior se utiliza una variable, denominada  $t$ , para medir el número de horas que faltan para que se produzca un evento o el número de horas transcurridas después de que éste se haya producido. Dependiendo de cual sea el evento más próximo, se emplea una de las siguientes fórmulas para calcular la atenuación. La evolución de las siguientes fórmulas se puede apreciar en el Anexo I.

$$L_{t_{ocaso}} = 12.4 - 9.248 * t + 2.892 * t^2 - 0.3343 * t^3 \quad - 1 < t < 4 \quad (4-12)$$

$$L_{t_{orto}} = 9.6 + 12.2 * t + 5.62 * t^2 + 0.86 * t^3 \quad - 3 < t < 1$$

Las horas que no pertenecen a ese rango pueden ser por dos posibles motivos. El primero de ellos, y el más ideal, es que se transmita de madrugada sin presencia cercana del sol y, por lo tanto, la atenuación existente se toma como 0 dB. El segundo de ellos es que se transmita en un tramo temporal intermedio entre los dos intervalos, estando el sol en su punto álgido diario, por lo que se hace inviable llevar a cabo esta transmisión, tomando un valor límite de 30 dB como atenuación e imposibilitando la comunicación.

Esta atenuación no debe calcularse para puntos de latitud elevada ni momentos del año en los que no se aprecia la salida o puesta del sol, imposibilitando el cálculo del amanecer o anochecer y, por lo tanto, no tener referencia sobre cuando será el momento ideal para transmitir.

## 4.7 Factor de pérdida que incorpora el efecto de la actividad solar

La actividad solar juega un papel muy importante en esta norma ya que de ella depende en gran medida la existencia de las capas de la Ionosfera, pero, si gracias a esta actividad las capas están presente también tiene su lado negativo y es que su presencia provoca una pérdida que se traduce negativamente en nuestra transmisión, por lo que tenemos que intentar que dicho valor sea lo más bajo posible y, de este modo, afecte poco a nuestro caso.

Para calcular dicha atenuación, como ya se hiciera en casos anteriores, lo primero que debemos de hacer es, en función de la distancia de separación entre las estaciones, diferenciar dos casos. El primero de ellos, cuando la distancia sea mayor de 3000 km y se divida el tramo en dos partes iguales, o cuando ésta sea inferior a dicha cantidad y se mantenga un único recorrido.

En función de la posible división se calcula  $\Phi$  en el punto medio de cada trayecto existente. En este cálculo toma un valor importante la frecuencia de transmisión, ya que en función de cual sea la banda de trabajo, las pérdidas se pueden anular o no, siendo éste el caso de cuando se trabaja en la banda de ondas kilométricas, es decir,  $f \in [150 - 300]$  (kHz). Cuando la banda de trabajo es la de ondas hectométricas, es decir,

$f \in [300 - 1700]$  (kHz) entra en juego la latitud geomagnética en el punto medio calculada con anterioridad,  $\Phi$ , ya que en función de su valor se utilizará una ecuación u otra para el cálculo de la atenuación.

Además del valor de  $\Phi$ , un aspecto clave es la posición que tiene dicho punto en la Tierra, es decir, si el punto justo donde se calcula la latitud geomagnética pertenece a la región europea, el parámetro  $b$  tomará un valor, y si no, tomará otro. Sin embargo, este aspecto no se puede determinar con total claridad por lo que se opta únicamente por tener en cuenta la posición del receptor, obviando la ubicación de la/s latitud/es geomagnética/s y, en función de si el receptor pertenece a Europa o no,  $b$  tomará uno de los siguientes valores:

$$\begin{aligned} b &= \left( \frac{(|\Phi| - 45)}{3} \right) && \text{cuando } RX \notin \text{Europa} \\ b &= 1 && \text{cuando } RX \in \text{Europa} \end{aligned} \quad (4-13)$$

Y de este modo se obtiene el valor de  $L_r$  como:

$$\begin{aligned} L_r &= b * (R/100) * (P/1000) && \text{cuando } |\Phi| > 45^\circ \\ L_r &= 0 && \text{cuando } |\Phi| \leq 45^\circ \end{aligned} \quad (4-14)$$

Como se puede apreciar en (6-12), el valor de  $R$  hace referencia al número de manchas solares suavizado y depende justo del momento en el que se decida transmitir.

En el caso en el que el trayecto haya sido dividido en dos tramos, se tendrían que calcular dos  $L_r$ , cuyo resultado final sería la suma de los dos en dB.



# 5 PROGRAMA EN PYTHON

---

Python es un lenguaje de programación que destaca por tener una sintaxis muy simple, lo cual resulta muy ventajoso ya que favorece que el código sea más legible por parte del usuario. Por otro lado, es un lenguaje que se caracteriza por ser multiparadigma, es decir, es capaz de soportar la orientación a objeto y la programación funcional, entre otros. Posee una enorme capacidad computacional en cuanto al uso de distintas bibliotecas se refiere, las cuales poseen funciones de todo tipo que hacen que dicho lenguaje sea muy usado para el desarrollo de aplicaciones, ya que la combinación de simpleza con extensas bibliotecas hace de él un lenguaje muy potente.

## 5.1 Fichero principal: main.py

El programa comenzará generando la interfaz para el usuario que tendrá que rellenar con los datos previstos para su diseño. Dichos datos serán imprescindibles para el correcto funcionamiento del programa, por lo que una mala elección en alguno de ellos puede provocar que el resultado final no tenga sentido. Los datos a rellenar son los siguientes:

- Frecuencia de transmisión en Hz
- Latitud y Longitud en formato decimal para el transmisor
- Latitud y Longitud en formato decimal para el receptor
- Si la estación receptora está dentro de la región europea
- La inclinación en grados para el transmisor y para el receptor
- La declinación magnética en grados para el transmisor y receptor
- Si la antena transmisora es omnidireccional o no
- La potencia radiada para el transmisor en dB(kW)
- La ganancia vertical para el transmisor en dB
- La ganancia horizontal para el transmisor en dB
- Si el transmisor se encuentra cerca de agua dulce o no
- Si el receptor se encuentra cerca de agua dulce o no
- Ganancia debida a la proximidad del mar para el transmisor y el receptor en dB
- Latitud y Longitud del punto más cercano al mar para el transmisor en formato decimal
- Latitud y Longitud del punto más cercano al mar para el receptor en formato decimal
- Latitud y Longitud del punto más cercano a la siguiente sección de tierra para el transmisor en formato decimal
- Latitud y Longitud del punto más cercano a la siguiente sección de tierra para el receptor en formato

decimal

- Uso horario al que pertenece el transmisor
- Uso horario del punto medio del trayecto

Una vez que el usuario ha rellenado todos los datos pedidos por pantalla, el programa se encarga de almacenarlos en variables y pasarlos a cada función para poder generar el resultado final.

### 5.1.1 clicked()

Función cuyo único cometido es almacenar los datos introducidos por parte del usuario en variables una vez éste finaliza. Un detalle importante a tener en cuenta es que para el correcto funcionamiento del programa se debe cambiar el tipo a todas ellas, ya que cuando el usuario introduce los valores, el programa los almacena en formato *string* y para hacer los cálculos matemáticos no sería posible de esa forma, por lo que se pasan a formato *float*. Por otro lado, aquellas variables que se rellenan eligiendo una opción mediante el botón circular, el programa realiza la siguiente asignación: cuando se elige la opción “*si*”, el programa almacena como valor de la variable la cadena “*s*”, y cuando se elige la opción “*no*”, se almacena la cadena “*n*”, ya que dependiendo de dicho valor se realizará un procedimiento u otro.

### 5.1.2 callStart(freq, latTX, longTX, latRX, longRX, estacion, ITX, IRX, omni, potRad, Gv, Gh, dulceTX, dulceRX, Go1, marLatTX, marLongTX, seccLatTX, seccLongTX, marLatRX, marLongRX, seccLatRX, seccLongRX, decTX, decRX)

Dicha función se toma como punto de partida de la automatización del programa, ya que una vez introducido todos los valores necesarios, éste puede comenzar a trabajar de manera independiente. Recibe como parámetros todos los valores introducidos por parte del usuario y lo primero que hará es una serie de comprobaciones críticas que, en caso de que no cumplan, impiden que el programa se desarrolle por completo.

La primera de éstas es que la variable *freq* pertenezca a un rango de frecuencias correcto, ya que en el caso de trabajar con ondas ionosféricas es un parámetro muy importante que, en caso de no cumplirse, puede hacer que la comunicación no se produzca correctamente. La siguiente comprobación la realiza sobre las coordenadas de las estaciones, teniendo en cuenta que sus latitudes, *latTX* y *latRX*, no pueden superar en valor absoluto los 90 grados y para las longitudes, *longTX* y *longRX*, los 180 grados, también en valor absoluto. Hay que recordar que estos valores son introducidos en formato decimal, y considerando que las direcciones oeste y sur son negativas, y las coordenadas norte y este positivas.

Posteriormente, pasa a clasificar la banda de trabajo en función de la *freq*, donde existen dos posibilidades, la banda de ondas kilométricas para frecuencias comprendidas dentro del rango de 30 a 300 kHz, y la banda de ondas hectométricas para frecuencias comprendidas dentro del rango de 300 a 3000 kHz. Hay que recordar que todas esas frecuencias no las soporta nuestro programa, acotando su funcionamiento entre 150 y 1700 kHz. En función del rango en el que se encuentre la frecuencia introducida será una banda u otra de trabajo y, en función de ello, la distancia máxima de separación entre las dos estaciones, *distancia*, podrá ser mayor o menor, la cual también comprueba y en caso de no cumplir finalizaría el programa puesto que la comunicación no se podrá llevar a cabo de manera efectiva.

Acto seguido, se llama a diversas funciones pasándoles los parámetros necesarios para su correcto funcionamiento, y una vez éstas terminen su ejecución tendremos la mayor parte del cálculo realizado faltando únicamente un valor por determinar,  $A$ , constante que dependerá de la banda de trabajo y de la posición del punto medio del trayecto que une ambas estaciones.

El último paso sería el calculo total de la intensidad de campo,  $E$ , y mostrarlo por pantalla para el usuario.

## 5.2 Fichero secundario: functions.py

Este fichero destaca por contener algunas funciones cuyo funcionamiento es muy variado y el cual se explica con más detalle en los puntos siguientes.

### 5.2.1 distance(lat1, long1, lat2, long2)

Función cuya operación es primordial para el correcto funcionamiento y realismo del programa. Se encarga de calcular la distancia entre las dos estaciones, *distancia*, y cuyo principio de funcionamiento se basa en calcular la distancia mínima a través del círculo máximo [1], ya que la Tierra al ser esférica no sería correcto trazar una línea recta atravesándola. La correcta interpretación es que dicha línea recorra la superficie. Recibe como parámetros las ubicaciones de las dos estaciones en formato decimal, *lat1*, *lat2*, *long1* y *long2*. Lo primero que se calculará es la resta tanto de las longitudes como de las latitudes. Posteriormente se calculará la mitad del cuadrado de la distancia que separa a ambos puntos en línea recta, que se denominará como  $a$  en el punto 6 y, por último, se multiplicará el radio de la tierra por el anterior valor pasado a radianes o grados, dependiendo de las unidades con las que se esté trabajando. Se devolverá el valor de *distancia* en kilómetros. Hay que destacar que este método tiene un pequeño error de cálculo puesto que asume que la Tierra es redonda en vez de esférica.

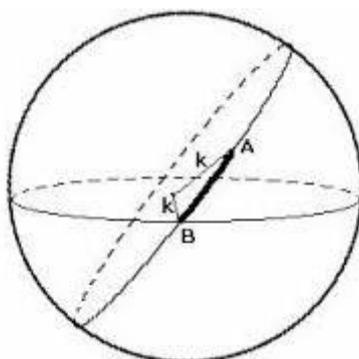


Figura 5-1. Ejemplo gráfico para el círculo máximo. [20]

### 5.2.2 trayectoProp\_P(distancia)

Función cuya tarea radica en calcular la distancia real del trayecto de propagación, para lo cual recibe como parámetro la distancia entre los nodos, *distancia*, ya calculada. Dentro de la función podemos diferenciar dos casos: cuando *distancia* es superior a 1000 km o cuando es inferior y para cada uno de ellos se obtiene un valor de  $p$  distinto, el cual devolverá como resultado de su ejecución, en kilómetros.

### 5.2.3 fuerzaCimo\_V(omni, potRad, Gv, Gh)

Función encargada de calcular la fuerza cimomotriz que se produce en la transmisión, recibiendo para ello como parámetros el tipo de antena transmisora, es decir, si ésta es omnidireccional o no a través de *omni*, la potencia radiada, *potRad*, y su respectiva ganancia vertical y horizontal,  $G_v$  y  $G_h$ , respectivamente. Todos ellos son parámetros a introducir por parte del usuario y en este caso, al igual que el anterior, se vuelve a diferenciar dos posibilidades. Por un lado, que la antena transmisora sea omnidireccional, para la cual tomará como nula la ganancia horizontal o, por otro lado, que la antena no sea omnidireccional teniendo que tomar un valor no nulo para la ganancia horizontal. Para ambos casos, el resultado final será la suma de dichos valores,  $V$ , aunque hay que tener en cuenta, como ya se explicó con anterioridad en el punto 3.2, que tomando el valor de la fuerza cimomotriz de referencia se anula esta parte no teniendo importancia en el cálculo del resultado final.

### 5.2.4 gananProxMar\_Gs(freq, distancia, banda, dulceTX, dulceRX, s1TX, s2TX, s1RX, s2RX, Go1)

Función encargada de calcular la ganancia por proximidad al mar por parte de ambas estaciones, y por separado. Hay que destacar que dicho cálculo solo se realizará siempre y cuando éstas se encuentren próximas a agua salada, debido a ello, recibirá como parámetros dos variables que indicarán si el agua cercana es dulce o salada tanto para el *TX* como para el *RX*, a través de *dulceTX* y *dulceRX*, además de la frecuencia de trabajo, *freq*, la distancia entre los nodos, *distancia*, la banda de trabajo en función de la frecuencia usada, la ganancia debida a la proximidad del mar,  $G_0$ , para el caso en el que no se cumplan ciertas condiciones internas a la función y, por tanto, no sea un valor establecido y la distancia desde la estación al mar y desde la estación a la siguiente sección de tierra, a través de  $s_1$  y  $s_2$ , tanto para el *TX* como para el *RX*, respectivamente. Hay que destacar que para el cálculo de estas últimas distancias se ha supuesto que se calculará sobre la línea imaginaria que une a ambas estaciones dentro del círculo máximo, no siendo posible desviarnos de ella.

La función comenzará comprobando la existencia de agua próxima al transmisor y, si la hubiera, si es salada. En caso contrario, no se calculará dicha ganancia para el transmisor. El siguiente paso es establecer el valor de la ganancia que dependerá de la banda de trabajo y de la distancia de separación entre las estaciones, dependiendo de ambos valores, la ganancia será un valor establecido o se utilizará el valor introducido por el usuario y que recibe esta función como parámetro.

Se inicializan algunas variables en función de la banda de trabajo que se utilizarán para algunos cálculos posteriores y se calcula la máxima distancia,  $r_1$ , para la cual se puede calcular ganancia en caso de que el agua próxima sea salada, es decir, si la distancia desde la estación al mar supera dicho valor no sería necesario este cálculo de ganancia.

El siguiente paso es calcular el valor de algunas correcciones, tanto para la distancia desde la estación al mar,  $c_1$ , como para la distancia desde la estación a la siguiente sección de tierra,  $c_2$ , y si la suma de éstas no supera el valor de la ganancia  $G_0$ , se calcula la ganancia debida a la proximidad del mar,  $G_{sTX}$ , para el transmisor.

Una vez finalizado todos esos pasos para el transmisor, se vuelven a repetir para el receptor con los valores correspondientes a él, teniendo en cuenta las mismas consideraciones y limitaciones y, por último, se suman ambos valores obtenidos de ganancias y será el valor devuelto por la función en decibelios,  $G_s$ .

### 5.2.5 **callSome(freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda, distancia, omni, potRad, Gv, Gh, dulceTX, dulceRX, s1TX, s2TX, s1RX, s2RX, Go1)**

Función cuya tarea es llamar a todas las funciones contenidas en dicho fichero y guardar sus valores devueltos. Recibe como parámetros las distintas variables que se han explicado a lo largo del funcionamiento del fichero y retornará la suma correspondiente a los valores devueltos por las funciones, mediante  $S$ .

## 5.3 Fichero secundario: attenuations.py

Este fichero destaca por contener aquellas funciones encargadas de calcular todas las atenuaciones que se pueden producir en la recomendación, las cuales se explican a continuación con mayor detalle.

### 5.3.1. **callAtenuations(p, freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda, estacion, distancia, R, ITX, IRX, decTX, decRX)**

Función encargada de almacenar los valores devueltos tras llamar a todas las funciones que se encuentran en dicho archivo. Recibe como parámetros  $p$  y  $distancia$ , ya calculados con anterioridad, la frecuencia de trabajo,  $freq$ , ubicaciones e inclinaciones a través de  $latTX$ ,  $longTX$ ,  $latRX$ ,  $longRX$ ,  $ITX$  y  $IRX$  de las antenas que son parámetros introducidos por el usuario, la banda de trabajo y el número de manchas solares,  $R$ , ya calculado. Su función se basa en ir llamando a cada una de las funciones existentes en este fichero y almacenar el valor que les devuelve. Una vez se ha llamado a todas, con todos los valores que han devuelto, se suman todos para devolverlo a la función principal mediante  $L$ .

### 5.3.2. **abslonosf\_La(p, latTX, longTX, latRX, longRX, distancia)**

Función encargada de calcular los efectos que engloban a la absorción ionosférica, enfoque, las pérdidas que se pueden producir en el terminal y las pérdidas referentes a los trayectos con secciones multisaltos. Recibe como parámetros las ubicaciones tanto del transmisor como del receptor en formato decimal mediante  $latTX$ ,  $longTX$ ,  $latRX$  y  $longRX$ , y las dos distancias,  $p$  y  $distancia$ , ya calculadas y explicadas con anterioridad.

El primer paso es averiguar si la distancia que separa a los nodos supera los 3000 kilómetros ya que, en ese caso, el tramo se dividirá en dos de igual tamaño. Una vez realizado esto, se calcula la latitud geomagnética del punto medio,  $\Phi$ , en cada tramo establecido para poder utilizar dichos valores en cálculos posteriores.

El siguiente paso es calcular el coeficiente de pérdida básico,  $k$ , en cada tramo dividido. Acto seguido, se realiza una media con ambos valores de  $k$ , en el caso de que hubiera más de uno, y se calcula, por último, el valor de la atenuación,  $L_a$ , que será el resultado devuelto por la función, en decibelios.

En el caso de que la distancia que separa a ambos nodos no supere los 3000 kilómetros, el procedimiento sería similar calculando únicamente un valor de latitud geomagnética y un valor de coeficiente de pérdida básico, ya que en este caso no se dividiría el trayecto en dos partes iguales, y se calcula de igual forma la atenuación.

### 5.3.3. `media_R()`

Función que se encarga de calcular la media de manchas solares suavizadas,  $R$ , en función del mes en que se produce la transmisión. Hay que destacar que dicha función se basa en valores pasados, puesto que hacer un programa estático con valores que pueden cambiar en cualquier momento resulta complejo. Para hacer que dicha media sea lo más real y ajustada posible se ha tomado valores de todas las manchas solares dadas mensualmente desde 1995 hasta 2017, realizando una media entre todos los meses iguales, de la siguiente url:

<https://www.spaceweatherlive.com/es/actividad-solar/ciclo-solar> [7].

Una vez se tiene el valor de cada mes, el último paso es averiguar en que mes se produce la transmisión, para lo cual se hace uso de funciones de Python con la que se extrae la fecha actual recibiendo una cadena en el formato `dd/mm/aaaa`, por lo que únicamente tendríamos que dividir la cadena y quedarnos con aquella parte que nos interesa. Una vez averiguamos el número del mes, se obtiene  $R$ , número de manchas solares suavizadas para dicho mes y se devuelve como resultado de la función.

### 5.3.4. `activSolar_Lr(p, freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda, estacion, distancia, R)`

Función encargada de calcular las pérdidas de los efectos de la actividad solar, recibiendo para ello como parámetros las dos distancias ya calculadas anteriormente,  $p$  y  $distancia$ , la frecuencia de trabajo,  $freq$ , la ubicación tanto del transmisor como del receptor, la banda de trabajo y el valor de las manchas solares suavizado,  $R$ . También recibe como parámetro una variable que hace referencia a si el receptor se encuentra dentro de Europa, la cual recibe el nombre de *estacion*.

Lo primero de todo, como ya se hiciera para el cálculo de  $L_a$ , es diferenciar los casos donde el trayecto supera los 3000 kilómetros de distancia entre los nodos y el que no. Para el caso donde si se supera, se debe calcular el punto medio del tramo para poder determinar la latitud geomagnética,  $\Phi$ , en el punto medio de cada tramo dividido, ya que para cada uno de ellos se calculará una atenuación. Solo faltaría tener en cuenta la banda de trabajo y, para cada caso, calcular la atenuación con la fórmula adecuada. El resultado final será la suma de ambas atenuaciones calculadas en decibelios,  $L_r$ , valor que se devolverá como resultado.

Para el caso donde el trayecto no supere los 3000 kilómetros, el procedimiento a seguir sería similar al ya explicado pero sin dividir el trayecto, por lo que solo se calcularía un valor de cada variable y el resultado final sería el cálculo de la atenuación en decibelios.

### 5.3.5. `acoplaPol_Lp(banda, lTX, lRX, latTX, longTX, latRX, longRX, decTX, decRX)`

Función encargada de calcular la atenuación sufrida para las dos estaciones debido a la polarización. Aunque el cálculo sea simple, como se puede observar en el punto 4.3, el cálculo del acimut respecto a una de las dos direcciones magnéticas en un proceso complejo que requiere de una explicación exhaustiva previa para poder llegar a ese valor, para lo cual nos hemos basado en [28]. El primer paso es determinar el nodo “B”, es decir, aquella estación que se encuentra más cerca de alguno de los dos polos, en una de las siguientes situaciones: si ambas están en el hemisferio norte, “B” será aquella más cercana al Polo Norte, si al menos una está en el hemisferio norte, ésta será “B”, y si ambas están en el hemisferio sur, “B” será la más cercana al Polo Sur. Puesto que estamos calculando distancias en la superficie de una esfera, éstas se realizarán basándonos en el

método presente del punto 5.2.1. El siguiente paso es calcular el ángulo “C”, que se puede encontrar en [28], que dependerá del valor de las longitudes de las estaciones, seguido de los ángulos “X” e “Y”, también presentes en el mismo sitio web. Dependiendo de donde se encuentren nuestras estaciones (si ambas están en el hemisferio sur o no), se usará la fórmula correspondiente para calcular el acimut en ambos casos y para ambas estaciones. Después, siguiendo la explicación realizada en el punto 3.6, se corregirá la declinación magnética [8], sumando o restando dicho valor a los ángulos calculados anteriormente. Y, por último, para cumplir la condición expuesta en la norma donde  $|\theta| \leq 90^\circ$ , dependiendo del cuadrante al que pertenezca nuestro ángulo calculado se realizará la correspondiente resta con el este u oeste magnético, obteniendo de esta forma  $\theta_{TX}$  y  $\theta_{RX}$ , representando el acimut del trayecto medido en grados con respecto a la dirección magnética este-oeste tanto para el transmisor como para el receptor. El siguiente paso sería determinar, en función de la frecuencia de trabajo, la banda en la que se realiza la transmisión para comprobar si se puede anular dicha atenuación o no. En caso de que no se anule porque se trabaje en la banda de ondas hectométricas, se realizará una comprobación con la inclinación magnética de cada antena,  $I_{TX}$  y  $I_{RX}$ , para calcular la correspondiente atenuación en caso de que no se cumpla la condición expuesta en 4.3.

Dicha atenuación se calculará tanto para el TX como para el RX, sumando ambos valores al final en decibelios, que será el resultado devuelto por la función.

### 5.3.6. `perdHor_Lt()`

Función encargada de calcular la atenuación producida por el factor horario correspondiente. Lo primero que se realiza para comenzar el procedimiento es obtener la fecha y hora local del momento en el que se ejecuta el programa mediante [6], obteniendo una cadena con una serie de datos en la que incluye día, mes, año, hora y minutos y separándola a través de funciones internas de python [5] para obtener la información que nos interesa.

Dentro de la función nos marcamos varios objetivos, el primero de ellos, calcular la hora tanto del amanecer como del anochecer en el punto medio del trayecto tratado, para lo cual se le pasa a la función la ubicación tanto del TX como del RX, la distancia del trayecto y el uso horario que posee el transmisor según su ubicación, y se seguirá el procedimiento que se encuentra redactado en el *Anexo III*. El segundo objetivo se basa en calcular el número de horas que faltan para que se produzca un evento, amanecer o anochecer, o el número de horas que han pasado desde que alguno sucedió. Según el evento y la diferencia existente se obtendrá un valor de atenuación o, por el contrario, estará definido por no pertenecer a los intervalos definidos en (4-12).

Dicho valor será independiente de la frecuencia de transmisión y solo se calculará una vez por cada ejecución del programa.



## 6 RESOLUCIÓN ANALÍTICA

---

A continuación se presenta una serie de ejemplos para su correspondiente resolución y posterior comparación con la salida que dará el programa, pues se pretende comparar ambos resultados para demostrar que el programa realizado funciona correctamente.

En concreto se tratará tres casos, cada uno de ellos diferentes pues las ubicaciones serán distintas en todos ellos y las cuales hemos sacado de *Google Earth* [17], pero en cada uno de ellos se usará dos frecuencias distintas para apreciar con mejor claridad la diferencia existente entre trabajar con ondas kilométricas o hectométricas, y las diferencias reflejadas en las variables  $L_p$ ,  $L_r$  y  $G_s$ . También se podrá apreciar la diferencia entre si la estación receptora pertenece a Europa o no, y cual es el efecto a la hora de transmitir, que como en el caso de la frecuencia, se tomará solo dos horas de referencia, cerca del amanecer y cerca del ocaso, y se irá rotando en cada caso para poder comprobar en cada uno de ellos cual es el efecto de transmitir en un momento u otro.

El procedimiento para el cálculo de la hora a la que se producen los eventos estará definido en el *Anexo III*, no quedando reflejado el cálculo de la hora en cada caso para no hacer demasiado denso dicho punto y además, para los tres casos sigue una línea procedimental similar por lo que sería repetitivo. En el anexo se explicará a modo genérico quedando bien marcado donde hay que sustituir los valores en cada caso para que el cálculo sea efectivo.

Destacar, por otro lado, que para el cálculo final de  $E$  se hará uso de una constante denominada  $A$ , la cual tomará varios valores en función de la frecuencia o de la ubicación del punto medio en el caso de ondas hectométricas. Para ondas kilométricas vale  $110.2$ , para ondas hectométricas  $107$  salvo si el punto medio está situado en la parte de la Región 3 (definida por la *ITU-R*) al sur del paralelo de  $11^\circ$  siendo en ese caso de  $110$ .

Por último, hay que tener en cuenta que en los cálculos siguientes se realizará una aproximación hasta el tercer decimal, por lo que pueden diferir con los resultados que calcule el programa. Aunque la diferencia puede ser mínima, cuando se hablan de decibelios el error de aproximación es más sensible.

## 6.1 Caso 1. Río de Janeiro → Buenos Aires

Se pretende transmitir desde Río de Janeiro hasta Buenos Aires. Se recuerda que el mismo ejemplo se resolverá dos veces pero con algunos datos distintos. Comenzamos con el primer ejemplo. La situación geográfica es la siguiente.

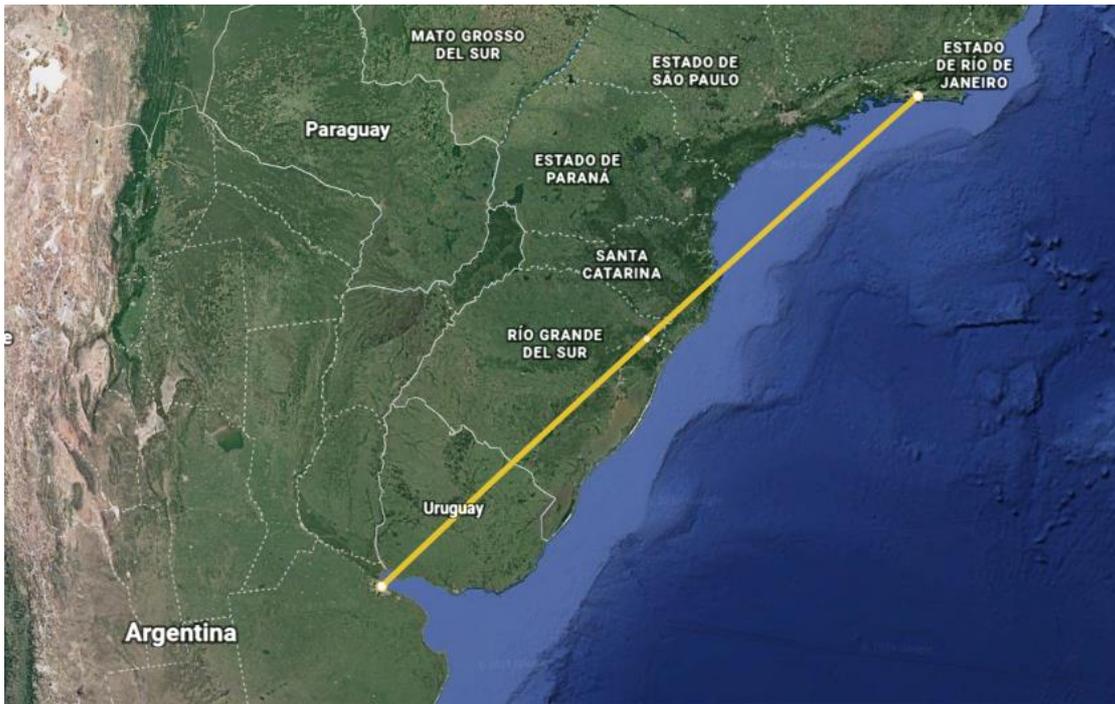


Figura 6-1. Ubicación del primer caso.

Los datos a introducir por parte del usuario son los siguientes:

- Frecuencia de transmisión:  $299000 \text{ Hz}$
- Latitud y Longitud en formato decimal para el transmisor:  $-22.9110137^\circ$ ;  $-43.2093727^\circ$
- Latitud y Longitud en formato decimal para el receptor:  $-34.6075616^\circ$ ;  $-58.437076^\circ$
- Si la estación receptora está dentro de la región europea: se marca la opción “No”
- La inclinación en grados para el transmisor:  $-29.6^\circ$
- La inclinación en grados para el receptor:  $-36^\circ$
- Si la antena transmisora es omnidireccional o no: se marca la opción “Si”
- La potencia radiada para el transmisor:  $0 \text{ dB(kW)}$
- La ganancia vertical para el transmisor:  $0 \text{ dB}$
- La ganancia horizontal para el transmisor:  $0 \text{ dB}$
- Si el transmisor se encuentra cerca de agua dulce o no: se marca la opción “No”
- Si el receptor se encuentra cerca de agua dulce o no: se marca la opción “No”

- Ganancia debida a la proximidad del mar:  $3.9 \text{ dB}$
- Latitud y Longitud del punto más cercano al mar para el transmisor en formato decimal:  
 $-23.013056^\circ; -43.32167^\circ$
- Latitud y Longitud del punto más cercano a la siguiente sección de tierra para el transmisor en formato decimal:  $-27.4^\circ; -48.41278^\circ$
- Latitud y Longitud del punto más cercano al mar para el receptor en formato decimal:  
 $-34.559444^\circ; -58.36111^\circ$
- Latitud y Longitud del punto más cercano a la siguiente sección de tierra para el receptor en formato decimal:  $-34.31111^\circ; -57.96833^\circ$
- Declinación magnética para el transmisor en grados:  $-18^\circ$
- Declinación magnética para el receptor en grados:  $-3^\circ$
- Uso horario del punto medio del trayecto:  $-3$
- Uso horario del transmisor:  $-3$

Puesto que la frecuencia de transmisión es de 299 kHz, pertenece al rango de ondas kilométricas, como bien se puede ver en el punto 3.3. El siguiente paso es obtener la distancia entre los nodos, para ello:

$$\Delta lat = latRX - latTX = -34.6075616^\circ + 22.9110137^\circ = -11.697^\circ \quad (6-1)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = -58.437076^\circ + 43.2093727^\circ = -15.228^\circ \quad (6-2)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-3)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-11.697^\circ}{2}\right) + \cos(-22.9110137^\circ) * \cos(-34.6075616^\circ) * \sin^2\left(\frac{-15.228^\circ}{2}\right) = \mathbf{0.0237 \text{ rad}}$$

$$distancia = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{0.0237}}{\sqrt{1-0.0237}}\right) = \mathbf{1971.183 \text{ km}} \quad (6-4)$$

Una vez hemos calculado la distancia, el siguiente paso sería calcular la distancia real del trayecto de propagación,  $p$ . En este caso, mediante el punto 4.4:

$$p = distancia = \mathbf{1971.183 \text{ km}} \quad (6-5)$$

A continuación calculamos el punto medio del trayecto, ya que se necesitará para realizar diversas operaciones, y tras éste se calcula la latitud geomagnética,  $\Phi$ , en dicho punto mediante (4-9).

$$latPM = \frac{(latTX + latRX)}{2} = \frac{(-22.9110137^\circ - 34.6075616^\circ)}{2} = -28.7593^\circ \quad (6-6)$$

$$longPM = \frac{(longTX + longRX)}{2} = \frac{(-43.2093727^\circ - 58.437076^\circ)}{2} = -50.823^\circ \quad (6-7)$$

$$\Phi = \sin^{-1}[\sin latPM * \sin(78.5^\circ) + \cos latPM * \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + \beta)] = \quad (6-8)$$

$$\begin{aligned}
&= \sin^{-1}[\sin(-28.7593^\circ) * \sin(78.5^\circ) + \cos(-28.7593^\circ) * \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ - 50.823)] = \\
&= \mathbf{-0.31038 \text{ rad} \leftrightarrow -17.7834^\circ}
\end{aligned}$$

Vamos ahora con el cálculo de  $L_a$ . Puesto que la distancia entre los nodos es inferior a 3000 km solo habrá un único tramo que separe a ambas estaciones. Haciendo uso de (4-10) y (4-11) respectivamente:

$$k = 2\pi + 4.95 * \tan^2 \Phi = 2\pi + 4.95 * \tan^2(-0.31038) = \mathbf{6.7924} \quad (6-9)$$

$$L_a = k * \sqrt{\frac{p}{1000}} = 6.7924 * \sqrt{\frac{1971.183}{1000}} = \mathbf{9.5364 \text{ dB}} \quad (6-10)$$

El siguiente cálculo se realizará para determinar las pérdidas que hacen referencia al efecto de la actividad solar, es decir,  $L_r$ . En este caso, al trabajar en la banda de ondas kilométricas:  $L_r = \mathbf{0 \text{ dB}}$ .

Lo mismo sucede para las pérdidas por acoplamiento de polarización. En este caso, al ser la inclinación y el acimut distinto para cada estación se deberá de calcular un valor para cada uno pero cuando se trabaja en la banda de ondas kilométricas:  $L_p = L_{pTX} = L_{pRX} = \mathbf{0 \text{ dB}}$ .

La siguiente variable a calcular es la ganancia por proximidad al mar,  $G_s$ . Puesto que *distancia* = **1971.183 km** y estamos trabajando en la banda de ondas kilométricas según la frecuencia de transmisión usada,  $G_0 = \mathbf{3.9 \text{ dB}}$ , valor introducido por el usuario ya que no se cumplen las condiciones especificadas por la recomendación para que dicho valor esté ya establecido.

En nuestro caso, al ser ambas ubicaciones próximas al mar y, además, siendo de agua salada, se precisa el cálculo en ambos nodos para dicha variable.

En primer lugar, para el TX, se averigua la distancia desde el terminal al mar,  $s_{1TX}$ , y la máxima distancia para la cual hay que calcular esta ganancia,  $r_{1TX}$ , mediante (4-1). Recordemos que para  $s_{1TX}$  la información introducida por el usuario son coordenadas en formato decimal y para el cual se hace uso del procedimiento que comienza en el punto (6-1).

$$\Delta lat = latRX - latTX = -23.013056^\circ + 22.9110137^\circ = \mathbf{-0.102^\circ} \quad (6-11)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = -43.32167^\circ + 43.2093727^\circ = \mathbf{-0.112^\circ} \quad (6-12)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-13)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-0.102^\circ}{2}\right) + \cos(-22.9110137^\circ) * \cos(-23.013056^\circ) * \sin^2\left(\frac{-0.112^\circ}{2}\right) = \mathbf{1.6 * 10^{-6} \text{ rad}}$$

$$s_{1TX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{1.6 * 10^{-6}}}{\sqrt{1 - 1.6 * 10^{-6}}}\right) = \mathbf{16.168 \text{ km}} \quad (6-14)$$

$$r_{1TX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_1 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{3.9^2}{0.3 * 299}\right) = \mathbf{169.565 \text{ km}} \quad (6-15)$$

Como  $r_{1TX} > s_{1TX}$  se puede seguir con el cálculo de la ganancia para el transmisor puesto que se cumple la condición, por lo que calculamos el factor de corrección correspondiente a esta parte mediante (4-3).

$$c_{1TX} = G_0 * \frac{s_{1TX}}{r_{1TX}} = 3.9 * \frac{16.168}{169.565} = \mathbf{0.37186} \quad (6-16)$$

Vamos con el cálculo de la distancia a la siguiente sección de tierra,  $s_{2TX}$ , para lo cual habrá que repetir el procedimiento que comienza en el punto (6-11) y  $r_{2TX}$ .

$$\Delta lat = latRX - latTX = -27.4^\circ + 22.9110137^\circ = \mathbf{-4.489^\circ} \quad (6-17)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = -48.41278^\circ + 43.2093727^\circ = \mathbf{-5.203^\circ} \quad (6-18)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-19)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-4.489^\circ}{2}\right) + \cos(-22.9110137^\circ) * \cos(-27.4^\circ) * \sin^2\left(\frac{-5.203^\circ}{2}\right) = \mathbf{3.178 * 10^{-3} rad}$$

$$s_{2TX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{3.178 * 10^{-3}}}{\sqrt{1-3.178 * 10^{-3}}}\right) = \mathbf{719.53 km} \quad (6-20)$$

$$r_{2TX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_2 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{3.9^2}{0.25 * 299}\right) = \mathbf{203.478 km} \quad (6-21)$$

Mediante el uso de (4-4) se obtiene  $c_{2TX} = \mathbf{0}$ .

Por último, haciendo uso de (4-5) se obtendría la ganancia correspondiente a la parte que hace referencia al transmisor.

$$G_{sTX} = G_0 - c_{1TX} - c_{2TX} = 3.9 - 0.37186 = \mathbf{3.52814 dB} \quad (6-23)$$

Ahora habría que realizar justo el mismo procedimiento pero para el RX:

$$\Delta lat = latRX - latTX = -34.6075616^\circ + 34.559444^\circ = \mathbf{-0.048^\circ} \quad (6-23)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = -58.437076^\circ + 58.36111^\circ = \mathbf{-0.076^\circ} \quad (6-24)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-25)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-0.048^\circ}{2}\right) + \cos(-34.55944^\circ) * \cos(-34.6075616^\circ) * \sin^2\left(\frac{-0.076^\circ}{2}\right) = \mathbf{4.74 * 10^{-7} rad}$$

$$s_{1RX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{4.74 * 10^{-7}}}{\sqrt{1-4.74 * 10^{-7}}}\right) = \mathbf{8.784 km} \quad (6-26)$$

$$r_{1RX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_1 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{3.9^2}{0.3 * 299}\right) = \mathbf{169.565 km} \quad (6-27)$$

Como  $r_{1RX} > s_{1RX}$  se puede seguir con el cálculo de la ganancia para el receptor puesto que se cumple la condición, por lo que calculamos el factor de corrección correspondiente a esta parte mediante (4-3).

$$c_{1RX} = G_0 * \frac{s_{1RX}}{r_{1RX}} = 3.9 * \frac{8.784}{169.565} = \mathbf{0.2019} \quad (6-28)$$

Vamos con el cálculo de la distancia a la siguiente sección de tierra,  $s_{2RX}$ , para lo cual habrá que repetir el procedimiento que comienza en el punto (6-23).

$$\Delta lat = latRX - latTX = -34.6075616^\circ + 34.31111^\circ = \mathbf{-0.296^\circ} \quad (6-29)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = -58.437076^\circ + 57.96833^\circ = \mathbf{-0.469^\circ} \quad (6-30)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-31)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-0.296^\circ}{2}\right) + \cos(-34.3111^\circ) * \cos(-34.6075616^\circ) * \sin^2\left(\frac{-0.469^\circ}{2}\right) = \mathbf{1.8 * 10^{-5} rad}$$

$$s_{2RX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{1.8 * 10^{-5}}}{\sqrt{1 - 1.8 * 10^{-5}}}\right) = \mathbf{54.21 km} \quad (6-32)$$

$$r_{2RX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_2 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{3.9^2}{0.25 * 299}\right) = \mathbf{203.478 km} \quad (6-33)$$

Mediante el uso de (4-4) se obtiene  $c_{2RX}$ :

$$c_{2RX} = \alpha * \left(1 - \frac{s_2}{r_2}\right) = 0.5 * \left(1 - \frac{54.21}{203.478}\right) = \mathbf{1.4305} \quad (6-44)$$

Haciendo uso de (4-5) se obtiene la ganancia correspondiente a la parte que hace referencia al receptor.

$$G_{sRX} = G_0 - c_{1RX} - c_{2RX} = 3.9 - 0.2019 - 1.4305 = \mathbf{2.2676 dB} \quad (6-35)$$

Por último, solo faltaría sumar las ganancias correspondientes obtenidas para el transmisor y receptor para obtener el resultado final.

$$G_s = G_{sTX} + G_{sRX} = 3.52814 + 2.2676 = \mathbf{5.79574 dB} \quad (6-36)$$

El siguiente cálculo es para determinar las pérdidas debidas a la hora de transmisión. Dicho cálculo es independiente de la frecuencia por lo que servirá también para el siguiente paso, cuando se modifique ésta. Lo primero que debemos de calcular es la hora tanto del amanecer como del anochecer en el punto medio del trayecto siguiendo el procedimiento descrito en el *Anexo III*. Para este caso, las horas obtenidas son las siguientes. Amanece a las 06:44h y anochece a las 18:06h. Como bien se describió en el punto 4.6 la hora de ejecución del programa marcará la hora de transmisión, siendo en este caso a las 20:30h. En este caso, al compartir uso horario tanto el TX como el punto medio, la hora de transmisión no se verá modificada en el

punto medio. Puesto que el evento más próximo con respecto la hora de transmisión en el punto medio es el anochecer, se calcula  $t$  (medido en horas sin tener en cuenta los minutos) como la diferencia entre éstos, siendo de  $+2h$ , puesto que medido en horas, se transmite a las  $20h$  y anochece a las  $18h$ . Según (4-12):

$$L_{t_{ocaso}} = 12.4 - 9.248 * t + 2.892 * t^2 - 0.3343 * t^3 = \mathbf{2.7976 \text{ dB}} \quad (6-37)$$

Por último, calculamos la intensidad de campo medido en dBV/m mediante:

$$E = G_s + V + A - 20 * \log p - L_a - L_r - L_p - L_t - 120 = \quad (6-38)$$

$$= 110.2 + 5.79574 - 20 * \log(1971.183) - 9.5364 - 2.7976 - 120 = \mathbf{-82.2324 \text{ dBV/m}}$$

Como bien se ha dicho al principio de esta sección, se variará la frecuencia a una que pertenezca al rango de ondas hectométricas. Para este apartado se utilizará una frecuencia de 1500 kHz, por lo que se verán cambios en las variables  $L_p$ ,  $L_r$  y  $G_s$ . Únicamente se calcularán aquellos parámetros que se vean afectados por dicho cambio.

Comenzamos calculando el parámetro de  $L_r$ . Hacemos uso de (6-8) donde hemos obtenido con anterioridad el valor de  $\Phi$ , el cual lo necesitamos en grados. Para este caso,  $\Phi = -17.783^\circ$ . Empleando (4-13):  $L_r = \mathbf{0 \text{ dB}}$ , puesto que  $\Phi$  no supera el valor de  $45^\circ$ .

El siguiente paso sería resolver el cálculo de  $G_s$ , donde solo se calcularán aquellos valores que dependan de la frecuencia, ya que saldrán resultados distintos de los calculados con anterioridad. En este caso, puesto que hemos cambiado de banda de trabajo,  $G_0 = \mathbf{8.5 \text{ dB}}$ , valor de nuevo introducido por el usuario puesto que siguen sin cumplirse las condiciones que marca la norma para que sea un valor predefinido. De nuevo, se calcula primero la parte correspondiente al TX y se finaliza con el RX.

$$r_{1TX} = 10^3 * \left( \frac{G_0^2}{q_1 * f} \right) = 10^3 * \left( \frac{8.5^2}{1.4 * 1500} \right) = \mathbf{34.405 \text{ km}} \quad (6-39)$$

Puesto que  $r_{1TX} > s_{1TX}$ :

$$c_{1TX} = G_0 * \frac{s_{1TX}}{r_{1TX}} = 8.5 * \frac{16.168}{34.405} = \mathbf{3.9944} \quad (6-40)$$

$$r_{2TX} = 10^3 * \left( \frac{G_0^2}{q_2 * f} \right) = 10^3 * \left( \frac{8.5^2}{1.2 * 1500} \right) = \mathbf{40.139 \text{ km}} \quad (6-41)$$

Mediante (4-4):

$$c_{2TX} = 0 \quad (6-42)$$

$$G_{sTX} = G_0 - c_{1TX} - c_{2TX} = 8.5 - 3.9944 = \mathbf{4.5056 \text{ dB}} \quad (6-43)$$

Se realiza el mismo procedimiento ahora para la otra estación.

$$r_{1RX} = 10^3 * \left( \frac{G_0^2}{q_1 * f} \right) = 10^3 * \left( \frac{8.5^2}{1.4 * 1500} \right) = \mathbf{34.405 \text{ km}} \quad (6-44)$$

Puesto que  $r_{1RX} > s_{1RX}$ :

$$c_{1RX} = G_0 * \frac{s_{1RX}}{r_{1RX}} = 8.5 * \frac{8.784}{34.405} = \mathbf{2.1702} \quad (6-45)$$

$$r_{2RX} = 10^3 * \left( \frac{G_0^2}{q_2 * f} \right) = 10^3 * \left( \frac{8.5^2}{1.2 * 1500} \right) = \mathbf{40.139 \text{ km}} \quad (6-46)$$

Haciendo uso de (4-4):

$$c_{2RX} = \mathbf{0} \quad (6-47)$$

$$G_{sRX} = G_0 - c_{1RX} - c_{2RX} = 8.5 - 2.1702 = \mathbf{6.33 \text{ dB}} \quad (6-48)$$

Por último, el resultado final será la suma de los dos valores obtenidos.

$$G_s = G_{sTX} + G_{sRX} = 4.5056 + 6.33 = \mathbf{10.8356 \text{ dB}} \quad (6-49)$$

Acto seguido, la siguiente variable que se vería modificada por la frecuencia sería  $L_p$ , por lo que se pasa a calcularla. En primer lugar se debe determinar cual de las dos estaciones representa al nodo "B", para ello calculamos cual de las dos estaciones se encuentra más cerca del Polo Sur, puesto que ambas se encuentran en el hemisferio sur debido a que sus latitudes son negativas.

$$\Delta lat = latPS - latTX = -90^\circ - (-22.9110137^\circ) = \mathbf{-67.089^\circ} \quad (6-50)$$

$$\Delta long = longPS - longTX = 0^\circ - (-43.2093727^\circ) = \mathbf{43.2093727^\circ} \quad (6-51)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latPS) * \cos(latTX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-52)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-67.089^\circ}{2}\right) + \cos(-90^\circ) * \cos(-22.9110137^\circ) * \sin^2\left(\frac{43.2093727^\circ}{2}\right) = \mathbf{0.3053 \text{ rad}}$$

$$dist_{TX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{0.3053}}{\sqrt{1-0.3053}}\right) = \mathbf{7467.47 \text{ km}} \quad (6-53)$$

Realizamos ahora el mismo procedimiento pero con la otra estación.

$$\Delta lat = latPS - latRX = -90^\circ - (-34.6075616^\circ) = \mathbf{-55.3924^\circ} \quad (6-54)$$

$$\Delta long = longPS - longRX = 0^\circ - (-58.437076^\circ) = \mathbf{58.437076^\circ} \quad (6-55)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latPS) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-56)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-55.3924^\circ}{2}\right) + \cos(-90^\circ) * \cos(-34.6075616^\circ) * \sin^2\left(\frac{58.437076^\circ}{2}\right) = \mathbf{0.216 \text{ rad}}$$

$$dist_{RX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{0.216}}{\sqrt{1-0.216}}\right) = \mathbf{6165.75 \text{ km}} \quad (6-57)$$

De este modo se determina que “B” sería la estación RX, puesto que  $dist_{TX} > dist_{RX}$ . El siguiente paso es calcular el ángulo “C”.

$$C = |l_a - l_b| = |-43.2093727 - (-58.437076)| = 15.2277^\circ \leq 180^\circ \rightarrow C = \mathbf{15.2277^\circ} \quad (6-58)$$

Renombramos como  $L_1 = |L_a|$  y  $L_2 = |L_b|$  ya que ambas se encuentran en e hemisferio sur, y pasamos a calcular los ángulos “X” e “Y”.

$$n_1 = \frac{\sin\left(\frac{0.5*\pi}{180} * (L_2 - L_1)\right)}{\tan\left(\frac{\pi*0.5*C}{180}\right) * \cos\left(\frac{\pi*0.5}{180} * (L_2 + L_1)\right)} = \quad (6-59)$$

$$= \frac{\sin\left(\frac{\pi}{360} * (34.6075616 - 22.9110137)\right)}{\tan\left(\frac{\pi*15.2277}{360}\right) * \cos\left(\frac{\pi}{360} * (34.6075616 + 22.9110137)\right)} = \mathbf{0.86937 rad}$$

$$n_2 = \frac{\cos\left(\frac{0.5*\pi}{180} * (L_2 - L_1)\right)}{\tan\left(\frac{\pi*0.5*C}{180}\right) * \sin\left(\frac{\pi*0.5}{180} * (L_2 + L_1)\right)} = \quad (6-60)$$

$$= \frac{\cos\left(\frac{\pi}{360} * (34.6075616 - 22.9110137)\right)}{\tan\left(\frac{\pi*15.2277}{360}\right) * \sin\left(\frac{\pi}{360} * (34.6075616 + 22.9110137)\right)} = \mathbf{15.4674 rad}$$

$$X = \tan^{-1}(n_2) - \tan^{-1}(n_1) = \tan^{-1}(15.4674) - \tan^{-1}(0.86937) = \mathbf{45.298^\circ} \quad (6-61)$$

$$Y = \tan^{-1}(n_1) + \tan^{-1}(n_2) = \tan^{-1}(15.4674) + \tan^{-1}(0.86937) = \mathbf{127.3054^\circ} \quad (6-62)$$

El acimut de cada estación se calculará siguiendo las ecuaciones descritas en [28].

$$az_{TX} = 180 + X = \mathbf{225.298^\circ} \quad (6-63)$$

$$az_{RX} = 180 - Y = \mathbf{52.6946^\circ} \quad (6-64)$$

El siguiente paso es corregir la declinación magnética para los últimos valores. Se suman en valor absoluto puesto que en ambos casos son declinaciones al oeste, es decir, negativas.

$$\theta_{TX1} = az_{TX} + |\delta_{TX}| = \mathbf{243.298^\circ} \quad (6-65)$$

$$\theta_{RX1} = az_{RX} + |\delta_{RX}| = \mathbf{55.6946^\circ} \quad (6-66)$$

Para hacer que cumpla la condición  $|\theta| \leq 90^\circ$  se realiza la siguiente resta dependiendo del cuadrante en el que

esté.

$$\theta_{TX} = 270^\circ - \theta_{TX1} = 270^\circ - 243.298^\circ = \mathbf{26.702^\circ} \quad (6-67)$$

$$\theta_{RX} = 90^\circ - \theta_{RX1} = 90^\circ - 55.6946^\circ = \mathbf{34.3054^\circ} \quad (6-68)$$

Pasamos a calcular, ahora si, la atenuación sufrida correspondiente a cada estación. Primero lo realizamos para el TX. Puesto que  $I_{TX} = -29.6^\circ \leq 45^\circ$  no se anulará dicho parámetro.

$$\begin{aligned} L_{pTX} &= 180 * (36 + \theta_{TX}^2 + I_{TX}^2)^{-0.5} - 2 = 180 * (36 + 26.702^2 + (-29.6)^2)^{-0.5} - 2 = \quad (6-69) \\ &= \mathbf{2.465 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Realizamos el mismo procedimiento para el RX. Puesto que  $I_{RX} = -36^\circ \leq 45^\circ$  no se anulará dicho parámetro.

$$\begin{aligned} L_{pRX} &= 180 * (36 + \theta_{RX}^2 + I_{RX}^2)^{-0.5} - 2 = 180 * (36 + 34.3054^2 + (-36)^2)^{-0.5} - 2 = \quad (6-70) \\ &= \mathbf{1.5936 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Por último, se suman ambos valores.

$$L_p = L_{pTX} + L_{pRX} = 2.465 + 1.5936 = \mathbf{4.0586 \text{ dB}} \quad (6-71)$$

Por último, calculamos la intensidad de campo medido en dBV/m mediante:

$$\begin{aligned} E &= G_s + V + A - 20 * \log p - L_a - L_r - L_p - L_t - 120 = \quad (6-72) \\ &= 107 + 10.8356 - 20 * \log(1971.183) - 9.5364 - 4.0586 - 2.7976 - 120 = \mathbf{-84.4515 \text{ dBV/m}} \end{aligned}$$

## 6.2 Caso 2. Moscú → Tokio

Se pretende transmitir desde Moscú a Tokio. La situación geográfica y los datos a introducir por parte del usuario son los siguientes:

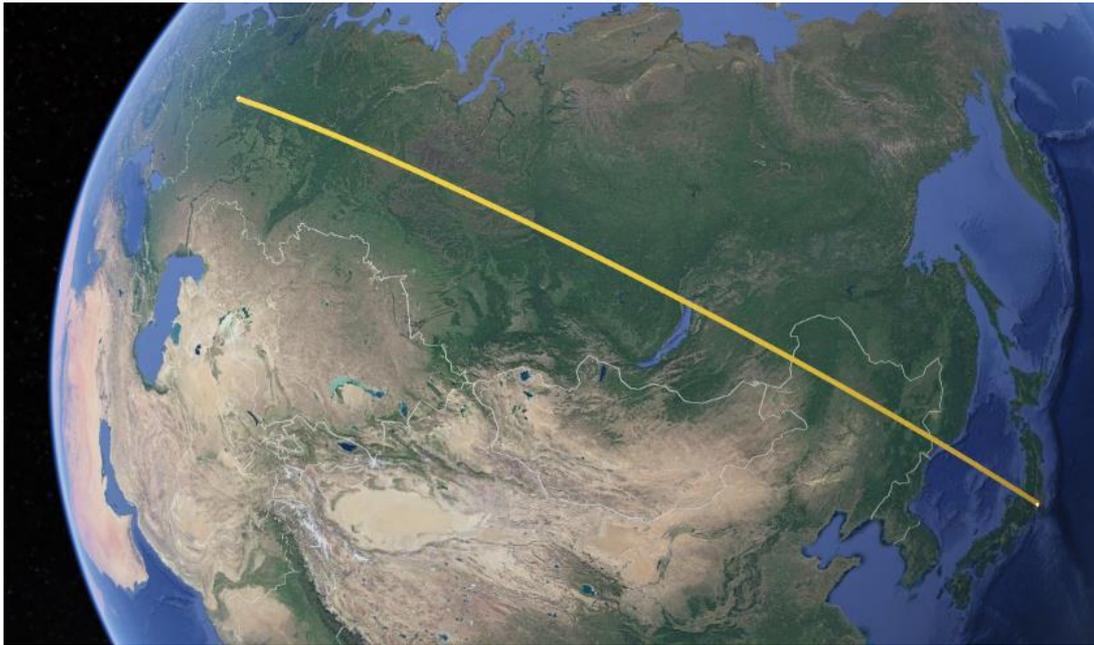


Figura 6-2. Ubicación del segundo caso.

- Frecuencia de transmisión:  $299000\text{ Hz}$
- Latitud y Longitud en formato decimal para el transmisor:  $55.7504461^\circ ; 37.6174943^\circ$
- Latitud y Longitud en formato decimal para el receptor:  $35.679444^\circ ; 139.768611^\circ$
- Si la estación receptora está dentro de la región europea: se marca la opción “No”
- La inclinación en grados para el transmisor:  $74^\circ$
- La inclinación en grados para el receptor:  $49^\circ$
- Si la antena transmisora es omnidireccional o no: se marca la opción “Si”
- La potencia radiada para el transmisor:  $0\text{ dB(kW)}$
- La ganancia vertical para el transmisor:  $0\text{ dB}$
- La ganancia horizontal para el transmisor:  $0\text{ dB}$
- Si el transmisor se encuentra cerca de agua dulce o no: se marca la opción “No”
- Si el receptor se encuentra cerca de agua dulce o no: se marca la opción “No”
- Ganancia debida a la proximidad del mar:  $4.1\text{ dB}$
- Latitud y Longitud del punto más cercano al mar para el transmisor en formato decimal:  
 $43.28861^\circ ; 131.7564^\circ$
- Latitud y Longitud del punto más cercano a la siguiente sección de tierra para el transmisor en formato decimal:  $43.17306^\circ ; 131.8975^\circ$
- Latitud y Longitud del punto más cercano al mar para el receptor en formato decimal:  
 $37.2258^\circ ; 138.3175^\circ$
- Latitud y Longitud del punto más cercano a la siguiente sección de tierra para el receptor en formato decimal:  $43.095278^\circ ; 131.9922^\circ$
- Declinación magnética para el transmisor en grados:  $7^\circ$
- Declinación magnética para el receptor en grados:  $-6^\circ$

- El uso horario en el punto medio del trayecto: 8
- El uso horario del transmisor: 3

Al igual que sucedía en el punto 6.1 para esta frecuencia, se está trabajando en la banda de ondas kilométricas. El primer paso es obtener la distancia entre los nodos, para ello:

$$\Delta lat = latRX - latTX = 35.679444^\circ - 55.7504461^\circ = -20.071^\circ \quad (6-72)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = 139.768611^\circ - 37.6174943^\circ = 102.1511^\circ \quad (6-73)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-74)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-20.071^\circ}{2}\right) + \cos(35.679444^\circ) * \cos(55.7504461^\circ) * \sin^2\left(\frac{102.1511^\circ}{2}\right) = 0.30706 \text{ rad}$$

$$distancia = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{0.30706}}{\sqrt{1-0.30706}}\right) = 7491.79 \text{ km} \quad (6-75)$$

Una vez hemos obtenido la distancia, se pasa a calcular la distancia real del trayecto de propagación,  $p$ . En este caso, mediante (4-8):

$$p = distancia = 7491.79 \text{ km} \quad (6-76)$$

A continuación calculamos el punto medio del trayecto y tras éste se calcula la latitud geomagnética,  $\Phi$ , en dicho punto mediante (4-9). En este caso, y a diferencia del anterior, tenemos una distancia entre nodos superior a 3000 km, por lo que el tramo se divide en dos partes iguales, y entonces, tendríamos que calcular cada tramo por separado, por lo que se duplicarían los cálculos.

$$latPM = \frac{(latTX + latRX)}{2} = \frac{(55.7504461^\circ + 35.67944^\circ)}{2} = 46.68394^\circ \quad (6-77)$$

$$longPM = \frac{(longTX + longRX)}{2} = \frac{(139.768611^\circ + 37.6174943^\circ)}{2} = 88.69305^\circ \quad (6-78)$$

$$latPM_1 = \frac{(latTX + latPM)}{2} = \frac{(55.7504461^\circ + 46.68394^\circ)}{2} = 51.21719^\circ \quad (6-79)$$

$$longPM_1 = \frac{(longTX + longPM)}{2} = \frac{(37.6174943^\circ + 88.69305^\circ)}{2} = 63.15527^\circ \quad (6-80)$$

$$latPM_2 = \frac{(latPM + latRX)}{2} = \frac{(46.68394^\circ + 35.679444^\circ)}{2} = 41.18169^\circ \quad (6-81)$$

$$longPM_2 = \frac{(longPM + longRX)}{2} = \frac{(88.68305^\circ + 139.768611^\circ)}{2} = 114.23083^\circ \quad (6-82)$$

$$\Phi_1 = \sin^{-1}[\sin latPM_1 * \sin(78.5^\circ) + \cos latPM_1 \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + longPM_1)] = \quad (6-83)$$

$$= \sin^{-1}[\sin(51.21719^\circ) * \sin(78.5^\circ) + \cos(51.21719^\circ) * \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + 63.15527^\circ)] =$$

$$= \mathbf{0.747854 \text{ rad} \leftrightarrow 42.849^\circ}$$

$$\Phi_2 = \sin^{-1}[\sin \text{lat}PM_2 * \sin(78.5^\circ) + \cos \text{lat}PM_2 * \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + \text{long}PM_2)] = \quad (6-84)$$

$$= \sin^{-1}[\sin(41.18169^\circ) * \sin(78.5^\circ) + \cos(41.18169^\circ) * \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + 114.23083^\circ)] =$$

$$= \mathbf{0.518317 \text{ rad} \leftrightarrow 29.697^\circ}$$

Vamos ahora con el cálculo de  $L_a$ . Haciendo uso de (4-10) y (4-11) respectivamente, y para cada tramo:

$$k_1 = 2\pi + 4.95 * \tan^2 \Phi_1 = 2\pi + 4.95 * \tan^2(0.747854) = \mathbf{10.5423} \quad (6-85)$$

$$k_2 = 2\pi + 4.95 * \tan^2 \Phi_2 = 2\pi + 4.95 * \tan^2(0.518317) = \mathbf{7.8933} \quad (6-86)$$

$$k = (k_1 + k_2)/2 = (10.5423 + 7.8933)/2 = \mathbf{9.2178} \quad (6-87)$$

$$L_a = k * \sqrt{\frac{p}{1000}} = L_a = 9.2178 * \sqrt{\frac{7491.79}{1000}} = \mathbf{25.23016 \text{ dB}} \quad (6-88)$$

El siguiente cálculo se realizará para determinar las pérdidas que hacen referencia al efecto de la actividad solar, es decir,  $L_r$ . Al trabajar en la banda de ondas kilométricas:  $L_r = L_{r1} = L_{r2} = \mathbf{0 \text{ dB}}$ .

Lo mismo sucede para las pérdidas por acoplamiento de polarización. Cuando se trabaja en la banda de ondas kilométricas:  $L_p = \mathbf{0 \text{ dB}}$ .

La siguiente variable a calcular es la ganancia por proximidad al mar,  $G_s$ . En este caso, puesto que *distancia* = **7491.79 km** y estamos trabajando en la banda de ondas kilométricas según la frecuencia de transmisión usada,  $G_0 = \mathbf{4.1 \text{ dB}}$ , valor predefinido ya que ahora si se cumplen las condiciones impuestas por la especificación.

En nuestro caso, al ser ambas ubicaciones próximas al mar y, además, siendo de agua salada, se precisa el cálculo en ambos nodos para dicha variable.

En primer lugar, para el TX, se averigua la distancia desde el terminal al mar,  $s_{ITX}$ , y la máxima distancia para la cual hay que calcular esta ganancia,  $r_{ITX}$ , mediante (4-1). Recordemos que para  $s_{ITX}$  la información introducida por el usuario son coordenadas en formato decimal y para el cual se hace uso del procedimiento que comienza en el punto (6-1).

$$\Delta \text{lat} = \text{lat}RX - \text{lat}TX = 43.28861^\circ - 55.7504461^\circ = \mathbf{-12.46184^\circ} \quad (6-89)$$

$$\Delta \text{long} = \text{long}RX - \text{long}TX = 131.7564 - 37.6174943^\circ = \mathbf{94.1389^\circ} \quad (6-90)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-91)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-12.46184^\circ}{2}\right) + \cos(43.28861^\circ) * \cos(55.7504461^\circ) * \sin^2\left(\frac{94.1389^\circ}{2}\right) = \mathbf{0.2314 rad}$$

$$s_{1TX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{0.2314}}{\sqrt{1-0.2314}}\right) = \mathbf{6401.4864 km} \quad (6-92)$$

$$r_{1TX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_1 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{4.1^2}{0.3 * 299}\right) = \mathbf{187.402 km} \quad (6-93)$$

Como  $r_{1TX} < s_{1TX}$  implica que  $G_{sTX} = \mathbf{0 dB}$ , puesto que se incumple la condición impuesta por la norma.

Ahora habría que realizar justo el mismo procedimiento pero para el RX:

$$\Delta lat = latRX - latTX = 35.679444^\circ - 37.2258^\circ = \mathbf{-1.54636^\circ} \quad (6-94)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = 139.768611^\circ - 138.3175^\circ = \mathbf{1.4511^\circ} \quad (6-95)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-96)$$

$$= \sin^2\left(\frac{-1.54636^\circ}{2}\right) + \cos(35.679444^\circ) * \cos(37.2258^\circ) * \sin^2\left(\frac{1.4511^\circ}{2}\right) = \mathbf{2.85 * 10^{-4} rad}$$

$$s_{1RX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{2.85 * 10^{-4}}}{\sqrt{1-2.85 * 10^{-4}}}\right) = \mathbf{215.511 km} \quad (6-97)$$

$$r_{1RX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_1 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{4.1^2}{0.3 * 299}\right) = \mathbf{187.4024 km} \quad (6-98)$$

Como  $r_{1RX} < s_{1RX}$  sucedería lo mismo que para el TX, por lo que  $G_{sRX} = \mathbf{0 dB}$ . Por último:

$$G_s = G_{sTX} + G_{sRX} = \mathbf{0 dB} \quad (6-99)$$

Al igual que en el caso anterior, mediante el procedimiento descrito en el *Anexo III* se calcula la hora tanto del anochecer como del amanecer en el punto medio del trayecto tratado, siendo este caso para el amanecer 07:21h y para el anochecer 20:52h. Para este caso tenemos que tener en cuenta además que, a diferencia del caso anterior, el uso horario en el punto medio es distinto al uso horario del transmisor, siendo de +5 horas la diferencia horaria entre éstos. Por lo que, si se transmite a las 13:30h hora local para el TX, esta hora en realidad en el punto medio es 18:30h. El evento más próximo que se produce en el punto medio teniendo en cuenta la anterior hora es el anochecer, por lo que se calcula  $t$ , medido en horas, siendo este caso de:

$$t = 18 - 20 = \mathbf{-2h} \rightarrow L_{t_{ocaso}} = \mathbf{30 dB} \quad (6-100)$$

Por último, realizamos el cálculo de E mediante:

$$E = G_s + V + A - 20 * \log p - L_a - L_r - L_p - L_t - 120 = \quad (6-101)$$

$$= -25.23016 - 30 + 110.2 - 120 - 20 * \log(7491.79) = \mathbf{-142.5219 \text{ dBV/m}}$$

Como en el caso anterior, variamos ahora la frecuencia para comprobar los cambios que se producen al trabajar en bandas distintas. De nuevo, solo se calculan aquellas variables que dependan de la frecuencia para simplificar el procedimiento.

Comenzamos calculando el parámetro de  $L_r$ . Para ello, y como en el caso anterior, debemos dividir el tramo en dos partes iguales puesto que la distancia entre los nodos es mayor que 3000 km. Empleando (4-13).

$$\Phi_1 = 42.849^\circ \rightarrow L_{r1} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-102)$$

$$\Phi_2 = 29.697^\circ \rightarrow L_{r2} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-103)$$

$$L_r = L_{r1} + L_{r2} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-104)$$

El siguiente paso sería resolver el cálculo de  $G_s$ , donde solo se calcularán aquellos valores que dependan de la frecuencia. Puesto que hemos cambiado de banda de trabajo,  $G_0 = \mathbf{10 \text{ dB}}$ , donde de nuevo se cumplen las condiciones para que sea un valor predefinido. Se calcula primero la parte correspondiente al TX y se finaliza con el RX.

$$r_{1TX} = 10^3 * \left( \frac{G_0^2}{q_1 * f} \right) = 10^3 * \left( \frac{10^2}{1.4 * 1500} \right) = \mathbf{47.619 \text{ km}} \quad (6-105)$$

Puesto que  $s_{1TX} > r_{1TX}$ , ya que  $s_{1TX}$  no cambia:

$$G_{sTX} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-106)$$

Se realiza el mismo procedimiento ahora para la otra estación.

$$r_{1RX} = 10^3 * \left( \frac{G_0^2}{q_1 * f} \right) = 10^3 * \left( \frac{10^2}{1.4 * 1500} \right) = \mathbf{47.619 \text{ km}} \quad (6-107)$$

Como  $s_{1RX} > r_{1RX}$ , ya que  $s_{1RX}$  no cambia:

$$G_{sRX} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-108)$$

Por último, el resultado final será la suma de los dos valores obtenidos.

$$G_s = G_{sTX} + G_{sRX} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-109)$$

Acto seguido, la siguiente variable que se vería modificada por la frecuencia sería  $L_p$ , por lo que se pasa a calcularla. Sin embargo, puesto que ambas inclinaciones son superiores a  $45^\circ$  se anula dicha atenuación, por lo

que,  $L_p = 0 \text{ dB}$

Por último, calculamos  $E$ :

$$E = G_s + V + A - 20 * \log p - L_a - L_r - L_p - L_t - 120 = \quad (6-110)$$

$$= -25.23016 - 30 + 107 - 120 - 20 * \log(7491.79) = -145.7219 \text{ dBV/m}$$

### 6.3 Caso 3. Jerusalén → Bruselas

En este caso el nodo transmisor estaría situado en Jerusalén y el receptor en Bruselas, siendo su situación geográfica la siguiente.



Figura 6-3. Ubicación del último caso.

Los datos a introducir por parte del usuario son los siguientes:

- Frecuencia de transmisión:  $299000 \text{ Hz}$
- Latitud y Longitud en formato decimal para el transmisor:  $31.778345^\circ ; 35.2250786^\circ$
- Latitud y Longitud en formato decimal para el receptor:  $50.8465573^\circ ; 4.351697^\circ$
- Si la estación receptora está dentro de la región europea: se marca la opción “Si”
- La inclinación en grados para el transmisor:  $47^\circ$

- La inclinación en grados para el receptor:  $65.5^\circ$
- Si la antena transmisora es omnidireccional o no: se marca la opción "Si"
- La potencia radiada para el transmisor:  $0 \text{ dB}(kW)$
- La ganancia vertical para el transmisor:  $0 \text{ dB}$
- La ganancia horizontal para el transmisor:  $0 \text{ dB}$
- Si el transmisor se encuentra cerca de agua dulce o no: se marca la opción "No"
- Si el receptor se encuentra cerca de agua dulce o no: se marca la opción "No"
- Ganancia debida a la proximidad del mar:  $2.9 \text{ dB}$
- Latitud y Longitud del punto más cercano al mar para el transmisor en formato decimal:  
 $32.18833^\circ; 34.8044^\circ$
- Latitud y Longitud del punto más cercano a la siguiente sección de tierra para el transmisor en formato decimal:  $36.31583^\circ; 30.2444^\circ$
- Latitud y Longitud del punto más cercano al mar para el receptor en formato decimal:  
 $40.85417^\circ; 24.33138^\circ$
- Latitud y Longitud del punto más cercano a la siguiente sección de tierra para el receptor en formato decimal:  $40.71306^\circ; 24.53361^\circ$
- Declinación magnética para el transmisor en grados:  $2.5^\circ$
- Declinación magnética para el receptor en grados:  $-4.7^\circ$
- Uso horario en el punto medio del trayecto: 2
- Uso horario del transmisor: 3

Como se ha comentado en casos anteriores, transmitir con esta frecuencia implica estar trabajando en la banda de ondas kilométricas. El primer paso es obtener la distancia entre los nodos, para ello:

$$\Delta lat = latRX - latTX = 50.8465573^\circ - 31.778345^\circ = \mathbf{19.0682^\circ} \quad (6-111)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = 4.351697^\circ - 35.2250786^\circ = \mathbf{-30.87338^\circ} \quad (6-112)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-113)$$

$$= \sin^2\left(\frac{19.0682^\circ}{2}\right) + \cos(50.8465573^\circ) * \cos(31.778345^\circ) * \sin^2\left(\frac{-30.87338^\circ}{2}\right) = \mathbf{0.0655 \text{ rad}}$$

$$distancia = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{0.0655}}{\sqrt{1-0.0655}}\right) = \mathbf{3301.39 \text{ km}} \quad (6-14)$$

Una vez se obtiene la distancia, se pasa a calcular la distancia real del trayecto de propagación,  $p$ , mediante (4-8):

$$p = distancia = \mathbf{3301.39 \text{ km}} \quad (6-115)$$

A continuación calculamos el punto medio del trayecto y tras éste se calcula la latitud geomagnética,  $\Phi$ , en dicho punto mediante (4-9) y para cada uno de los tramos divididos, puesto que la distancia entre nodos es

superior a 3000 km, por lo que el tramo se divide en dos partes iguales.

$$latPM = \frac{(latTX + latRX)}{2} = \frac{(31.778345^\circ + 50.8465573^\circ)}{2} = \mathbf{41.31245^\circ} \quad (6-116)$$

$$longPM = \frac{(longTX + longRX)}{2} = \frac{(35.2250786^\circ + 4.351697^\circ)}{2} = \mathbf{19.7884^\circ} \quad (6-117)$$

$$latPM_1 = \frac{(latTX + latPM)}{2} = \frac{(31.778345^\circ + 41.31245^\circ)}{2} = \mathbf{36.5454^\circ} \quad (6-118)$$

$$longPM_1 = \frac{(longTX + longPM)}{2} = \frac{(35.2250786^\circ + 19.7884^\circ)}{2} = \mathbf{27.5067^\circ} \quad (6-119)$$

$$latPM_2 = \frac{(latPM + latRX)}{2} = \frac{(41.31245^\circ + 50.8465573^\circ)}{2} = \mathbf{46.0795^\circ} \quad (6-120)$$

$$longPM_2 = \frac{(longPM + longRX)}{2} = \frac{(19.7884^\circ + 4.351697^\circ)}{2} = \mathbf{12.07^\circ} \quad (6-121)$$

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \sin^{-1}[\sin latPM_1 * \sin(78.5^\circ) + \cos latPM_1 \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + longPM_1)] = \quad (6-122) \\ &= \sin^{-1}[\sin(36.5454^\circ) * \sin(78.5^\circ) + \cos(36.5454^\circ) * \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + 27.5067^\circ)] = \\ &= \mathbf{0.600865 \text{ rad} \leftrightarrow 34.427^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_2 &= \sin^{-1}[\sin latPM_2 * \sin(78.5^\circ) + \cos latPM_2 * \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + longPM_2)] \quad (6-123) \\ &= \\ &= \sin^{-1}[\sin(46.0795^\circ) * \sin(78.5^\circ) + \cos(46.0795^\circ) * \cos(78.5^\circ) * \cos(69^\circ + 12.07^\circ)] = \\ &= \mathbf{0.814394 \text{ rad} \leftrightarrow 46.661^\circ} \end{aligned}$$

Vamos ahora con el cálculo de  $L_a$ . Haciendo uso de (4-10) y (4-11) respectivamente, y para cada tramo:

$$k_1 = 2\pi + 4.95 * \tan^2 \Phi_1 = 2\pi + 4.95 * \tan^2(0.600865) = \mathbf{8.608613} \quad (6-124)$$

$$k_2 = 2\pi + 4.95 * \tan^2 \Phi_2 = 2\pi + 4.95 * \tan^2(0.814394) = \mathbf{11.8423} \quad (6-125)$$

$$k = \frac{(k_1 + k_2)}{2} = \frac{(8.608613 + 11.8423)}{2} = \mathbf{10.22546} \quad (6-126)$$

$$L_a = k * \sqrt{\frac{p}{1000}} = L_a = 10.22546 * \sqrt{\frac{3301.39}{1000}} = \mathbf{18.5794 \text{ dB}} \quad (6-127)$$

El siguiente cálculo se realizará para determinar las pérdidas que hacen referencia al efecto de la actividad solar, es decir,  $L_r$ . Al trabajar en la banda de ondas kilométricas:  $L_r = L_{r1} = L_{r2} = \mathbf{0 \text{ dB}}$ .

Para las pérdidas por acoplamiento de polarización, puesto que se trabaja en la banda de ondas kilométricas:  $L_p = \mathbf{0 \text{ dB}}$ .

Calculamos ahora la ganancia por proximidad al mar,  $G_s$ . En este caso, puesto que *distancia* = **3301.39 km** y la banda de trabajo es la banda de ondas kilométricas,  $G_0 = 2.9 \text{ dB}$ , valor introducido por parte del usuario.

Para el TX, en primer lugar, se averigua la distancia desde el terminal al mar,  $s_{1TX}$ , y la máxima distancia para la cual hay que calcular esta ganancia,  $r_{1TX}$ , mediante (4-1). Para calcular  $s_{1TX}$  se hace uso del procedimiento que comienza en el punto (6-1).

$$\Delta lat = latRX - latTX = 32.18833^\circ - 31.778345^\circ = \mathbf{0.409985^\circ} \quad (6-128)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = 34.8044^\circ - 35.2250786^\circ = \mathbf{-0.42068^\circ} \quad (6-129)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-130)$$

$$= \sin^2\left(\frac{0.409985^\circ}{2}\right) + \cos 32.1883^\circ * \cos(31.778345^\circ) * \sin^2\left(\frac{-0.42068^\circ}{2}\right) = \mathbf{2.248 * 10^{-5} \text{ rad}}$$

$$s_{1TX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{2.248 * 10^{-5}}}{\sqrt{1-2.248 * 10^{-5}}}\right) = \mathbf{60.485 \text{ km}} \quad (6-131)$$

$$r_{1TX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_1 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{2.9^2}{0.3 * 299}\right) = \mathbf{93.757 \text{ km}} \quad (6-132)$$

Como  $r_{1TX} > s_{1TX}$  se puede seguir con el cálculo de la ganancia para el transmisor, por lo que calculamos el factor de corrección mediante (4-3).

$$c_{1TX} = G_0 * \frac{s_{1TX}}{r_{1TX}} = 2.9 * \frac{60.4857}{93.757} = \mathbf{1.8709} \quad (6-133)$$

Vamos con el cálculo de la distancia a la siguiente sección de tierra,  $s_{2TX}$ , para lo cual habrá que repetir el procedimiento que comienza en el punto (6-11) y  $r_{2TX}$ .

$$\Delta lat = latRX - latTX = 36.31583^\circ - 31.778345^\circ = \mathbf{4.537^\circ} \quad (6-134)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = 30.2444^\circ - 35.2250786^\circ = \mathbf{-4.981^\circ} \quad (6-135)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-136)$$

$$= \sin^2\left(\frac{4.537^\circ}{2}\right) + \cos(36.31583^\circ) * \cos(31.778345^\circ) * \sin^2\left(\frac{-4.981^\circ}{2}\right) = \mathbf{2.86 * 10^{-3} \text{ rad}}$$

$$s_{2TX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{2.86 * 10^{-3}}}{\sqrt{1-2.86 * 10^{-3}}}\right) = \mathbf{682.539 \text{ km}} \quad (6-137)$$

$$r_{2TX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_2 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{2.9^2}{0.25 * 299}\right) = \mathbf{112.50836 \text{ km}} \quad (6-138)$$

Mediante el uso de (4-4) se obtiene  $c_{2TX} = 0$ .

Por último, haciendo uso de (4-5) se obtendría la ganancia correspondiente a la parte que hace referencia al transmisor.

$$G_{sTX} = G_0 - c_{1TX} - c_{2TX} = 2.9 - 1.8709 = \mathbf{1.0291 \text{ dB}} \quad (6-139)$$

Ahora realizamos el mismo procedimiento para el RX:

$$\Delta lat = latRX - latTX = 50.8465573^\circ - 40.85417^\circ = \mathbf{9.992^\circ} \quad (6-140)$$

$$\Delta long = longRX - longTX = 4.351697^\circ - 24.33138^\circ = \mathbf{-19.98^\circ} \quad (6-141)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(latTX) * \cos(latRX) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) = \quad (6-142)$$

$$= \sin^2\left(\frac{9.992^\circ}{2}\right) + \cos(50.8465573^\circ) * \cos(40.85417^\circ) * \sin^2\left(\frac{-19.98^\circ}{2}\right) = \mathbf{0.021956 \text{ rad}}$$

$$s_{1RX} = 2 * R_a * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right) = 2 * 6378 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{0.021956}}{\sqrt{1-0.021956}}\right) = \mathbf{1897.11 \text{ km}} \quad (6-143)$$

$$r_{1RX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_1 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{2.9^2}{0.3 * 299}\right) = \mathbf{93.757 \text{ km}} \quad (6-144)$$

Como  $r_{1RX} < s_{1RX}$  no se cumple la condición marcada por la norma, por lo que:

$$G_{sRX} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-145)$$

Por último, solo faltaría sumar las ganancias correspondientes obtenidas para el transmisor y receptor para obtener el resultado final.

$$G_s = G_{sTX} + G_{sRX} = 3.52814 + 0 = \mathbf{1.0291 \text{ dB}} \quad (6-146)$$

Mediante el procedimiento descrito en el *Anexo III* se calcula la hora del amanecer, siendo  $06:03h$  y la hora del anochecer, siendo de  $19:21h$  para el punto medio del trayecto tratado en este caso. Al igual que en el caso anterior, la hora de transmisión difiere con la hora que habrá en el punto medio puesto que los usos horarios son distintos, habiendo una hora menos en el punto medio. Puesto que se transmite a las  $00:30h$ , hora local para el TX, en el punto medio serán las  $23:30h$ . El evento más próximo de producirse es el anochecer, por lo que se debe calcular  $t$ , medido en horas, respecto a la hora que anochece en el punto medio.

$$t = 23 - 19 = \mathbf{4h} \rightarrow L_{t_{ocaso}} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-147)$$

Para finalizar con esta parte se calcula  $E$  mediante:

$$E = G_s + V + A - 20 * \log p - L_a - L_r - L_p - L_t - 120 = \quad (6-148)$$

$$= -18.5794 + 1.0291 + 110.2 - 120 - 20 * \log(3301.39) = \mathbf{-97.7242 \text{ dBV/m}}$$

Para este apartado, como ya se ha hecho anteriormente, se utilizará una frecuencia de 1500 kHz, por lo que se verán cambios en las variables  $L_p$ ,  $L_r$  y  $G_s$ .

Comenzamos calculando el parámetro de  $L_r$ . Hacemos uso de (6-8) donde hemos obtenido con anterioridad el valor de  $\Phi$ , el cual lo necesitamos en grados.

$$\Phi_1 = 34.427^\circ \rightarrow L_{r1} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-149)$$

$$\begin{aligned} \Phi_2 = 46.661^\circ \rightarrow L_{r2} &= b * \left(\frac{R}{100}\right) * \left(\frac{P}{2000}\right) = 1 * \left(\frac{68}{100}\right) * \left(\frac{3301.39}{2 * 1000}\right) = \quad (6-150) \\ &= \mathbf{1.12247 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Donde  $b = 1$  debido a que la estación receptora está situada en Europa y  $R = 68$ , el número de manchas solares suavizado y obtenido para el mes en el que se ha realizado la transmisión, siendo en este caso el mes de junio y cuyo valor se ha explicado en 5.3.3 como se ha obtenido.

$$L_r = L_{r1} + L_{r2} = \mathbf{1.12247 \text{ dB}} \quad (6-151)$$

El siguiente paso sería resolver el cálculo de  $G_s$ . Puesto que hemos cambiado de banda de trabajo,  $G_0 = 6 \text{ dB}$ , valor de nuevo introducido por el usuario. De nuevo, se calcula primero la parte correspondiente al TX y se finaliza con el RX.

$$r_{1TX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_1 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{6^2}{1.4 * 1500}\right) = \mathbf{17.14286 \text{ km}} \quad (6-152)$$

Puesto que  $r_{1TX} < s_{1TX}$ :

$$G_{sTX} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-153)$$

Se realiza el mismo procedimiento ahora para la otra estación.

$$r_{1RX} = 10^3 * \left(\frac{G_0^2}{q_1 * f}\right) = 10^3 * \left(\frac{6^2}{1.4 * 1500}\right) = \mathbf{17.14286 \text{ km}} \quad (6-154)$$

Puesto que  $r_{1RX} < s_{1RX}$ :

$$G_{sRX} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-155)$$

Por último, el resultado final será la suma de los dos valores obtenidos.

$$G_s = G_{sTX} + G_{sRX} = \mathbf{0 \text{ dB}} \quad (6-156)$$

La siguiente variable que se calculará será  $L_p$ , sin embargo, al igual que sucede en el caso anterior, las inclinaciones de las dos estaciones son superiores a  $45^\circ$ , por lo que se vuelve a anular dicha atenuación,  $L_p = \mathbf{0\ dB}$

Se calcula  $E$  por último mediante:

$$\begin{aligned} E &= G_s + V + A - 20 * \log p - L_a - L_r - L_p - L_t - 120 = & (6-157) \\ &= -18.5794 - 1.12247 + 107 - 120 - 20 * \log(3301.79) = \mathbf{-103.0768\ dBV/m} \end{aligned}$$

# 7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

El fin de este apartado no es otro que corroborar el correcto funcionamiento del programa realizado en Python, justificando los cálculos hechos en el apartado anterior y demostrando que la salida que ofrece el programa es prácticamente similar, teniendo en cuenta los errores de aproximación que tanto el programa comete a la hora de redondear como nosotros hemos podido realizar con la calculadora.

La estructura de este apartado es similar a la del caso anterior para facilitar la correcta lectura, teniendo tres casos diferentes en los que, para cada uno de ellos se modificará la frecuencia para poder apreciar con mayor detalle como se comportan las distintas variables que dependen de ésta, y de este modo, realizar un análisis con mejores posibilidades.

Por último, cabe recordar que el programa tomará los valores de fecha y hora del momento justo de la ejecución, el cual se podrá ver en las distintas imágenes que estarán en este apartado.

## 7.1 Caso 1. Río de Janeiro → Buenos Aires

Para el primer caso, donde la frecuencia toma un valor de 299 kHz, los datos a introducir son los siguientes:

Introduzca la frecuencia dentro del rango 150-1700 kHz (Hz):	299000	¿La estación receptora se encuentra dentro de Europa?:	<input type="radio"/> Si	<input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena transmisora en formato decimal:	-22.9110137	¿La antena transmisora es una antena omnidireccional?:	<input checked="" type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena transmisora en formato decimal:	-43.2093727	¿El agua cerca del transmisor es dulce?:	<input type="radio"/> Si	<input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena receptora en formato decimal:	-34.6075616	¿El agua cerca del receptor es dulce?:	<input type="radio"/> Si	<input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena receptora en formato decimal:	-58.437076	Introduzca la ganancia debida a la proximidad del mar (dB):	3.9	
Introduzca la inclinacion magnetica en grados para el transmisor:	-29.6	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	-23.013056	
Introduzca la inclinacion magnetica en grados para el receptor:	-36	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	-43.32167	
Especifique la potencia radiada (dB) por encima del valor de referencia (1dBkW):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	-27.4	
Especifique el valor de la ganancia vertical (dB):	0	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	-48.41278	
Especifique el valor de la ganancia horizontal (dB):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	-34.55944	
Especifique el valor de la declinacion magnetica para el transmisor en grados:	-18	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	-58.36111	
Especifique el valor de la declinacion magnetica para el receptor en grados:	-3	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	-34.3111	
Especifique la franja horaria del transmisor:	-3	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	-57.96833	
Especifique la franja horaria del del punto medio del trayecto:	-3		Listo	

Figura 7-1. Datos de entrada. Caso 1-a

El programa ofrece la siguiente salida:

```

Simbolo del sistema - main.py
C:\Python>main.py
La fecha actual del sistema es 2019-08-25 20:30:12.203604
Atenuación debida a la absorción ionosférica y factores conexos, La (dB) : 9.536646278801971
Atenuación debida al efecto de la actividad solar, Lr (dB) : 0
Atenuación debida a la pérdida por acoplamiento de polarización, Lp (dB) : 0
Hora del amanecer: 06:46
Hora del anochecer: 18:05
Atenuación debida a la pérdida horaria, Lt (dB) : 2.7976000000000014
Ganancia debida a la proximidad del mar, Gs (dB) : 5.795658364619226
Valor de fuerza cimomotriz, V(dB(300 V)) : 0.0
A: 110.2
Distancia real del trayecto de propagación, p (km) : 1971.25048647511
Valor mediano anual de las intensidades de campo medianas semihorarias, E (dBV/m) : -82.23342418446973
    
```

Figura 7-2. Datos de salida. Caso 1-a

Para el caso donde la frecuencia toma un valor de 1500 kHz:

Introduzca la frecuencia dentro del rango 150-1700 kHz (Hz):	1500000	¿La estación receptora se encuentra dentro de Europa?:	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena transmisora en formato decimal:	-22.9110137	¿La antena transmisora es una antena omnidireccional?:	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena transmisora en formato decimal:	-43.2093727	¿El agua cerca del transmisor es dulce?:	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena receptora en formato decimal:	-34.6075616	¿El agua cerca del receptor es dulce?:	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena receptora en formato decimal:	-58.437076	Introduzca la ganancia debida a la proximidad del mar (dB):	8.5
Introduzca la inclinación magnética en grados para el transmisor:	-29.6	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	-23.013056
Introduzca la inclinación magnética en grados para el receptor:	-36	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	-43.32167
Especifique la potencia radiada (dB) por encima del valor de referencia (1dBKW):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	-27.4
Especifique el valor de la ganancia vertical (dB):	0	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	-48.41278
Especifique el valor de la ganancia horizontal (dB):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	-34.559444
Especifique el valor de la declinación magnética para el transmisor en grados:	-18	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	-58.36111
Especifique el valor de la declinación magnética para el receptor en grados:	-3	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	-34.3111
Especifique la franja horaria del transmisor:	-3	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	-57.96833
Especifique la franja horaria del del punto medio del trayecto:	-3		

Listo

Figura 7-3. Datos de entrada. Caso 1-b

El programa ofrece la siguiente salida:

# Simulador en Python para el cálculo de la intensidad de campo de la onda ionosférica según la Rec.55 ITU-R P.1147

```
Símbolo del sistema - main.py
C:\Python>main.py
La fecha actual del sistema es 2019-08-25 20:32:08.456109
Atenuación debida a la absorción ionosférica y factores conexos, La (dB) : 9.536646278801971
Atenuación debida al efecto de la actividad solar, Lr (dB) : 0
Atenuación debida a la pérdida por acoplamiento de polarización, Lp (dB) : 4.058199832880982
Hora del amanecer: 06:46
Hora del anochecer: 18:05
Atenuación debida a la pérdida horaria, Lt (dB) : 2.7976000000000014
Ganancia debida a la proximidad del mar, Gs (dB) : 10.834547705174112
Valor de fuerza cimomotriz, V(dB(300 V)) : 0.0
A: 107
Distancia real del trayecto de propagación, p (km) : 1971.25048647511
Valor mediano anual de las intensidades de campo medianas semihorarias, E (dBV/m) : -84.45273467679583
```

Figura 7-4. Datos de salida. Caso 1-b

## 7.2 Caso 2. Moscú → Tokio

En este segundo caso, el procedimiento a seguir será similar al anterior.

Introduzca la frecuencia dentro del rango 150-1700 kHz (Hz):	299000	¿La estación receptora se encuentra dentro de Europa?:	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena transmisora en formato decimal:	55.7504461	¿La antena transmisora es una antena omnidireccional?:	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena transmisora en formato decimal:	37.6174943	¿El agua cerca del transmisor es dulce?:	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena receptora en formato decimal:	35.679444	¿El agua cerca del receptor es dulce?:	<input type="radio"/> Si <input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena receptora en formato decimal:	139.768611	Introduzca la ganancia debida a la proximidad del mar (dB):	4.1
Introduzca la inclinación magnetica en grados para el transmisor:	74	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	43.28861
Introduzca la inclinación magnetica en grados para el receptor:	49	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	131.7564
Especifique la potencia radiada (dB) por encima del valor de referencia (1dBkW):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	43.17306
Especifique el valor de la ganancia vertical (dB):	0	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	131.8975
Especifique el valor de la ganancia horizontal (dB):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	37.2258
Especifique el valor de la declinación magnetica para el transmisor en grados:	7	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	138.3175
Especifique el valor de la declinación magnetica para el receptor en grados:	-6	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	43.095278
Especifique la franja horaria del transmisor:	3	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	131.9922
Especifique la franja horaria del del punto medio del trayecto:	8		

Figura 7-5. Datos de entrada. Caso 2-a

El programa ofrece la siguiente salida:

```

C:\Python>main.py
La fecha actual del sistema es 2019-08-25 13:30:10.343617
Atenuación debida a la absorción ionosférica y factores conexos, La (dB) : 24.95423057961142
Atenuación debida al efecto de la actividad solar, Lr (dB) : 0
Atenuación debida a la pérdida por acoplamiento de polarización, Lp (dB) : 0
Hora del amanecer: 07:18
Hora del anochecer: 20:56
Atenuación debida a la pérdida horaria, Lt (dB) : 30
Ganancia debida a la proximidad del mar, Gs (dB) : 0
Valor de fuerza cimomotriz, V(dB(300 V)) : 0.0
A: 110.2
Distancia real del trayecto de propagación, p (km) : 7491.796664004308
Valor mediano anual de las intensidades de campo medianas semihorarias, E (dBV/m) : -142.24595021181938

```

Figura 7-6. Datos de salida. Caso 2-a

Para el caso donde la frecuencia toma un valor de *1500 kHz*:

Introduzca la frecuencia dentro del rango 150-1700 kHz (Hz):	1500000	¿La estación receptora se encuentra dentro de Europa?:	<input type="radio"/> Si	<input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena transmisora en formato decimal:	55.7504461	¿La antena transmisora es una antena omnidireccional?:	<input checked="" type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena transmisora en formato decimal:	37.6174943	¿El agua cerca del transmisor es dulce?:	<input type="radio"/> Si	<input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena receptora en formato decimal:	35.679444	¿El agua cerca del receptor es dulce?:	<input type="radio"/> Si	<input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena receptora en formato decimal:	139.768611	Introduzca la ganancia debida a la proximidad del mar (dB):	<input type="text" value="10"/>	
Introduzca la inclinación magnetica en grados para el transmisor:	74	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	<input type="text" value="43.28861"/>	
Introduzca la inclinación magnetica en grados para el receptor:	49	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	<input type="text" value="131.7564"/>	
Especifique la potencia radiada (dB) por encima del valor de referencia (1dBKW):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	<input type="text" value="43.17306"/>	
Especifique el valor de la ganancia vertical (dB):	0	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	<input type="text" value="131.8975"/>	
Especifique el valor de la ganancia horizontal (dB):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	<input type="text" value="37.2258"/>	
Especifique el valor de la declinación magnetica para el transmisor en grados:	7	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	<input type="text" value="138.3175"/>	
Especifique el valor de la declinación magnetica para el receptor en grados:	-6	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	<input type="text" value="43.095278"/>	
Especifique la franja horaria del transmisor:	3	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	<input type="text" value="131.9922"/>	
Especifique la franja horaria del del punto medio del trayecto:	8	<input type="button" value="Listo"/>		

Figura 7-7. Datos de entrada. Caso 2-b

Los datos de salida que ofrece el programa son los siguientes:

```

C:\Python>main.py
La fecha actual del sistema es 2019-08-25 00:30:110248
Atenuación debida a la absorción ionosférica y factores conexos, La (dB) : 18.57656872375642
Atenuación debida al efecto de la actividad solar, Lr (dB) : 0
Atenuación debida a la pérdida por acoplamiento de polarización, Lp (dB) : 0
Hora del amanecer: 06:01
Hora del anochecer: 19:25
Atenuación debida a la pérdida horaria, Lt (dB) : 0
Ganancia debida a la proximidad del mar, Gs (dB) : 1.028598865414105
Valor de fuerza cimomotriz, V(dB(300 V)) : 0.0
A: 110.2
Distancia real del trayecto de propagación, p (km) : 3300.4042118931043
Valor mediano anual de las intensidades de campo medianas semihorarias, E (dBV/m) : -97.71931251192632

```

Figura 7-8. Datos de salida. Caso 2-b

### 7.3 Caso 3. Jerusalén → Bruselas

Mostramos primero el caso donde la frecuencia toma el valor de *299 kHz*:

Introduzca la frecuencia dentro del rango 150-1700 kHz (Hz):	299000	¿La estación receptora se encuentra dentro de Europa?:	<input checked="" type="radio"/> Sí <input type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena transmisora en formato decimal:	31.778345	¿La antena transmisora es una antena omnidireccional?:	<input checked="" type="radio"/> Sí <input type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena transmisora en formato decimal:	35.2250786	¿El agua cerca del transmisor es dulce?:	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena receptora en formato decimal:	50.8465573	¿El agua cerca del receptor es dulce?:	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena receptora en formato decimal:	4.351697	Introduzca la ganancia debida a la proximidad del mar (dB):	2.9
Introduzca la inclinacion magnetica en grados para el transmisor:	47	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	32.18833
Introduzca la inclinacion magnetica en grados para el receptor:	65.5	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	34.8044
Especifique la potencia radiada (dB) por encima del valor de referencia (1dBkW):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	36.31583
Especifique el valor de la ganancia vertical (dB):	0	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	30.2444
Especifique el valor de la ganancia horizontal (dB):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	40.85417
Especifique el valor de la declinacion magnetica para el transmisor en grados:	2.5	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	24.33138
Especifique el valor de la declinacion magnetica para el receptor en grados:	-4.7	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	40.71306
Especifique la franja horaria del transmisor:	3	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	24.53361
Especifique la franja horaria del del punto medio del trayecto:	2		

Figura 7-9. Datos de entrada. Caso 3-a

Los datos de salida son:

```
Símbolo del sistema - main.py
C:\Python>main.py
La fecha actual del sistema es 2019-08-25 00:30:110248
Atenuación debida a la absorción ionosférica y factores conexos, La (dB) : 18.57656872375642
Atenuación debida al efecto de la actividad solar, Lr (dB) : 0
Atenuación debida a la pérdida por acoplamiento de polarización, Lp (dB) : 0
Hora del amanecer: 06:01
Hora del anochecer: 19:25
Atenuación debida a la pérdida horaria, Lt (dB) : 0
Ganancia debida a la proximidad del mar, Gs (dB) : 1.028598865414105
Valor de fuerza cimomotriz, V(dB(300 V)) : 0.0
A: 110.2
Distancia real del trayecto de propagación, p (km) : 3300.4042118931043
Valor mediano anual de las intensidades de campo medianas semihorarias, E (dBV/m) : -97.71931251192632
```

Figura 7-10. Datos de salida. Caso 3-a

Para el caso donde la frecuencia toma un valor de *1500 kHz*:

Introduzca la frecuencia dentro del rango 150-1700 kHz (Hz):	1500000	¿La estación receptora se encuentra dentro de Europa?:	<input checked="" type="radio"/> Sí	<input type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena transmisora en formato decimal:	31.778345	¿La antena transmisora es una antena omnidireccional?:	<input checked="" type="radio"/> Sí	<input type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena transmisora en formato decimal:	35.2250786	¿El agua cerca del transmisor es dulce?:	<input type="radio"/> Sí	<input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la latitud de la antena receptora en formato decimal:	50.8465573	¿El agua cerca del receptor es dulce?:	<input type="radio"/> Sí	<input checked="" type="radio"/> No
Introduzca la longitud de la antena receptora en formato decimal:	4.351697	Introduzca la ganancia debida a la proximidad del mar (dB):	6	
Introduzca la inclinación magnetica en grados para el transmisor:	47	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	32.18833	
Introduzca la inclinación magnetica en grados para el receptor:	65.5	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar:	34.8044	
Especifique la potencia radiada (dB) por encima del valor de referencia (1dBKW):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	36.31583	
Especifique el valor de la ganancia vertical (dB):	0	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion de tierra:	30.2444	
Especifique el valor de la ganancia horizontal (dB):	0	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	40.85417	
Especifique el valor de la declinación magnetica para el transmisor en grados:	2.5	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar:	24.33138	
Especifique el valor de la declinación magnetica para el receptor en grados:	-4.7	Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	40.71306	
Especifique la franja horaria del transmisor:	3	Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra:	24.53361	
Especifique la franja horaria del del punto medio del trayecto:	2	<input type="button" value="Listo"/>		

Figura 7-11. Datos de entrada. Caso 3-b

El programa ofrece la siguiente salida:

```

C:\Python>main.py
La fecha actual del sistema es 2019-08-25 00:33:405611
Atenuación debida a la absorción ionosférica y factores conexos, La (dB) : 18.57656872375642
Atenuación debida al efecto de la actividad solar, Lr (dB) : 1.1221374320436555
Atenuación debida a la pérdida por acoplamiento de polarización, Lp (dB) : 0
Hora del amanecer: 06:01
Hora del anochecer: 19:25
Atenuación debida a la pérdida horaria, Lt (dB) : 0
Ganancia debida a la proximidad del mar, Gs (dB) : 0
Valor de fuerza cimomotriz, V(dB(300 V)) : 0.0
A: 107
Distancia real del trayecto de propagación, p (km) : 3300.4042118931043
Valor mediano anual de las intensidades de campo medianas semihorarias, E (dBV/m) : -103.07004880938408
    
```

Figura 7-12. Datos de salida. Caso 3-b

## 8 CONCLUSIONES

---

Son muchas cosas buenas las que podría destacar tras la realización de este proyecto, aunque no ha sido un camino de recorrido fácil. Demostrarse a uno mismo que puede con todo es el mayor logro y fuente de motivación e inspiración para plantearse futuros objetivos y es que eso ha sido este proyecto para mí.

Todos los conceptos vistos a lo largo de la carrera me han servido para agilizar la fase de investigación y sobre todo para afianzarlos, ya que muchos de ellos hacía años que no los estudiaba. Por otro lado, he aprendido otras partes de la radiocomunicación o, mejor dicho, profundizado en otros procedimientos como es la propagación a través de la Ionosfera. Para quien le guste esta rama, sin lugar a dudas, poder aprender otros aspectos resulta muy motivador y sorprendente.

Uno de los mayores problemas que he encontrado durante la realización de este proyecto fue tener que trabajar sin capas cartográficas. Todas las plataformas en internet y aplicaciones relacionadas con coordenadas geográficas precisan de dichas capas para hacer los cálculos más realistas y, sobre todo, tener automatizado en gran medida la aplicación de la que se trate. La falta de éstas han hecho que tenga que realizar todo ese proceso automatizado, como encontrar un punto debido a cualquier condición, a mano y tener que introducirlo en el programa igual, lo cual hace que a la hora de presentarlo no quede todo lo bien que pudiera. Existen capas gratuitas con las que podría haber trabajado sin problemas, sin embargo, toda la facilidad que tenían para poder adquirirlas era debido a la imprecisión que poseían, y si queríamos hacer un simulador con valores lo más realista posibles, lo que menos problemas debía de dar era el núcleo sobre lo que se basaría nuestro programa, de ahí el principal motivo para no hacer uso de éstas. Como parte positiva, toda la facilidad que hubiera tenido de tener todos esos procesos automatizados, he tenido que pelear e investigar aún más para poder sacarlo adelante.

Otro aspecto a destacar, y todo lo que conlleva hoy en día, es aprender un lenguaje que está de moda y que sin duda me puede brindar nuevas oportunidades laborales en un futuro a corto plazo. Pero no fue fácil, sobre todo al principio, ya que el desconocimiento hizo que tuviera que realizar una investigación previa a la investigación que se debe realizar en todos los proyectos, para aprender procesos, automatismos, sintaxis, funciones y bibliotecas propias del lenguaje, haciendo que el proceso de realización de éste se dilatara, sin embargo, todo tiene sus frutos e hizo que pudiera ir todo más rodado poco después. Sin lugar a dudas, la organización y una buena base son dos aspectos claves para la consecución de cualquier objetivo.

He realizado una interfaz para que la introducción de datos por parte del usuario sea más visible y “menos fría”, lo cual considero una de las partes más importantes dentro de una aplicación, y es el facilitarle el uso a la persona que esté al otro lado y hacer de su uso lo más ameno y cómodo posible. Hoy en día, en un mundo en el que mandan las aplicaciones, todas poseen una interfaz a la que seguro se le habrá dedicado gran parte del tiempo del total. Queda pendiente, como posible mejora, que la devolución de datos por parte del programa se realiza también a través de la interfaz y no a través de la ventana de comandos, sin embargo, para la comprobación de que todo funcionaba correctamente nos sirve aunque en ese sentido, pierde un poco de potencial con respecto al manejo que pueda hacer el usuario de él.

Por tanto, llegados a este punto, considero un acierto total la elección y realización de este trabajo, aportandome nuevos conocimientos, confianza, seguridad y abriéndome puertas que quizás nunca habría planteado abrirlas, por lo que animo a toda persona con dudas, no solo en esta decisión, sino en general, a salir de la zona de confort y enfrentarse a nuevos retos. La dificultad del momento te hará aprender mucho más de lo que te imaginabas.

# REFERENCIAS

---

- [1] Jose Miguel, «Fórmula de Haversine,» 2011. [En línea]. Available:  
<https://www.genbeta.com/desarrollo/como-calcular-la-distancia-entre-dos-puntos-geograficos-en-c-formula-de-haversine>
- [2] Radiocommunication sector of ITU, «Frequency bands - TABLE 1 (ITU-R V.431-8),» 2016.
- [3] Roberto Ferrero, «The twenty-four solar cycle,» 2019. [En línea]. Available:  
<https://blog.cielosboreales.com/el-ciclo-solar-24/>.
- [4] Javier Montero, «Trigonometry in python,» 2013. [En línea]. Available:  
<http://elclubdelautodidacta.es/wp/2013/03/trigonometria-en-python/>.
- [5] Javier Montero, «Strings in python,» 2013. [En línea]. Available:  
<http://elclubdelautodidacta.es/wp/2013/10/python-troceando-y-recomponiendo-strings/>.
- [6] Diego Caraballo, «Obtener fecha y hora actual en python,» [En línea]. Available:  
<http://www.pythondiario.com/2014/05/obtener-fecha-y-hora-actual-en-python.html>.
- [7] SpaceWeatherLive, [En línea]. Available:  
<https://www.spaceweatherlive.com/es/actividad-solar/ciclo-solar>.
- [8] David, «Meteo y orientación,» 2017. [En línea]. Available:  
<https://thetrekkinglife.com/articulos/orientacion/111-los-tres-tipos-de-norte-y-la-declinacion-magnetica>.
- [9] Radiocommunication sector of ITU, «Recommendation ITU-R BS.561-2, Definiciones de la radiación en radiodifusión (ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas),» 2002.
- [10] Radiocommunication sector of ITU, «Recommendation ITU-R P.1147-4, Predicción de la intensidad de campo de ondas de cielo en frecuencias entre aproximadamente 150 y 1 700 kHz,» 2015.
- [11] Capas de la Tierra ORG, [En línea]. Available:  
<https://www.capasdelatierra.org/ionosfera/>.
- [12] Gabriela Briceño V., «Ionosphere,» [En línea]. Available:  
<https://www.euston96.com/ionosfera/>.
- [13] Geokov, «Declinación magnética - Inclinación magnética,» [En línea]. Available:  
<http://geokov.com/education/magnetic-declination-inclination.aspx>.

- [14] University of Granada, «History about Ionosphere,» [En línea]. Available: <http://electronica.ugr.es/~amroldan/asignaturas/curso01-02/tv2/Ionosfera.htm>.
- [15] Space Academy, «Historia del descubrimiento Ionosférico,» [En línea]. Available: <https://www.spaceacademy.net.au/library/notes/earlyion.htm>.
- [16] Ian Poole, «Radio waves and the Ionosphere,» 1999.
- [17] Google, «Google Earth,» [En línea]. Available: <https://www.google.es/intl/es/earth/index.htm>.
- [18] Dave Anderson, «Space Environment Topics - Figure 2,» 1999.
- [19] Amateur Radio Colombia, «Propagación de las ondas electromagnéticas - Imagen Capas de la Ionosfera,» 2017. [En línea]. Available: <http://hamradio.sabanalarga.org/propagacion.html>.
- [20] Carlos S. China, «Las fórmulas de la trigonometría esférica - Imagen Ángulo sobre un círculo máximo,» 2002. [En línea] Available: <http://casanchi.com/mat/formulaesferica.pdf>.
- [21] Radiocommunication sector of ITU, «Rec. P.1147-4 - Figure 8a,» 2015.
- [22] Radiocommunication sector of ITU, «Rec. P.1147-4 - Figure 8b,» 2015.
- [23] Radiocommunication sector of ITU, «Rec. P.1147-4 - Figure 1,» 2015.
- [24] Radiocommunication sector of ITU, «Rec. P.1147-4 - Figure 10,» 2015.
- [25] Radiocommunication sector of ITU, «Rec. P.1147-4 - Figure 9,» 2015.
- [26] Radiocommunication sector of ITU, «Rec. BS.561-2 - Table 1,» 2002.
- [27] SailandTrip, «Declinación Magnética,» 2015. [En línea]. Available: <https://sailandtrip.com/declinacion-magnetica/>.
- [28] UTFSM, «Determinación de angulos,» 2010. [En línea]. Available: <http://www2.elo.utfsm.cl>.
- [29] Jon Clements, «stack overflow - converting float to hhmm format,» 2014. [En línea]. Available: <https://stackoverflow.com/questions/27496889/converting-a-float-to-hhmm-format>.
- [xx] O. Autor, «Otra cita distinta,» revista, p. 12, 2001.

# GLOSARIO

---

Sensibilidad: Mínimo nivel de potencia que necesita recibir el receptor para poder diferenciar dicha recepción del ruido y, de esta forma, poder realizar todas las operaciones de demodulación de la señal de manera correcta.

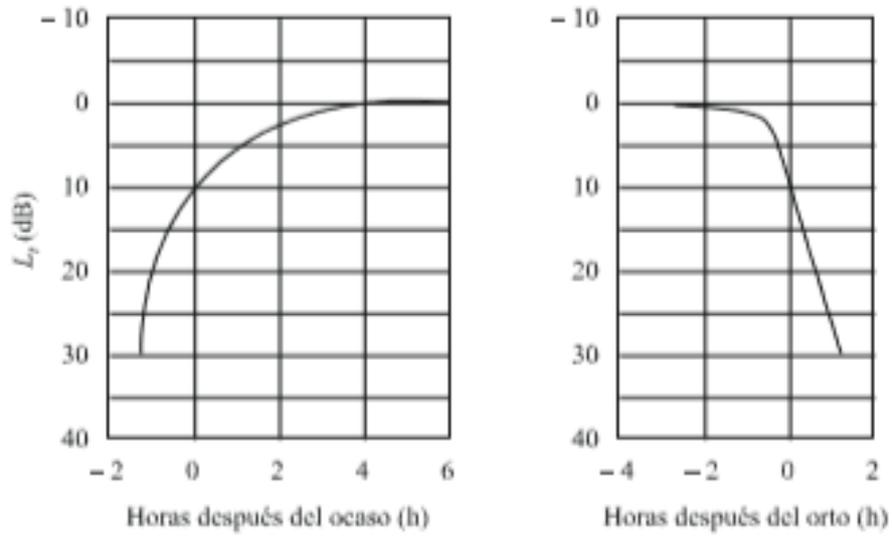
ITU-R: *International Telecommunication Union of Radiocommunications* es el organismo encargado a nivel internacional de gestionar el espectro radioeléctrico con el objetivo de que su uso sea lo más óptimo posible, además de establecer todas las normas y recomendaciones que se deben respetar para que dicho fin se produzca.

Refracción: Se denomina refracción al cambio de dirección que experimenta una onda cuando intenta pasar de un medio a otro y no lo consigue, motivado por la diferencia existentes entre los índices de refracción de los distintos medios que intervienen en la acción.



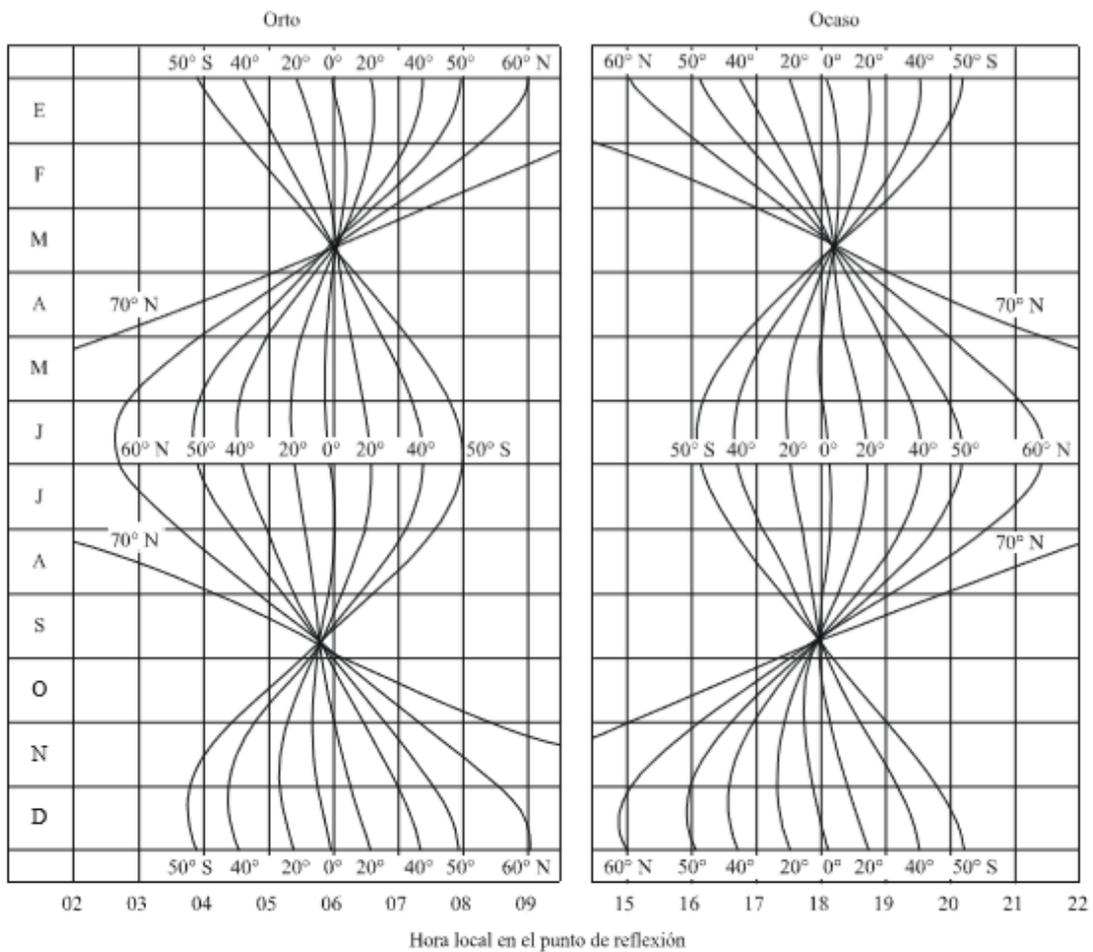
# ANEXO I

**Factor de pérdida horaria ( $L_t$ )**



1147-03

**Horas de orto y de ocaso para diferentes meses y latitudes geográficas**

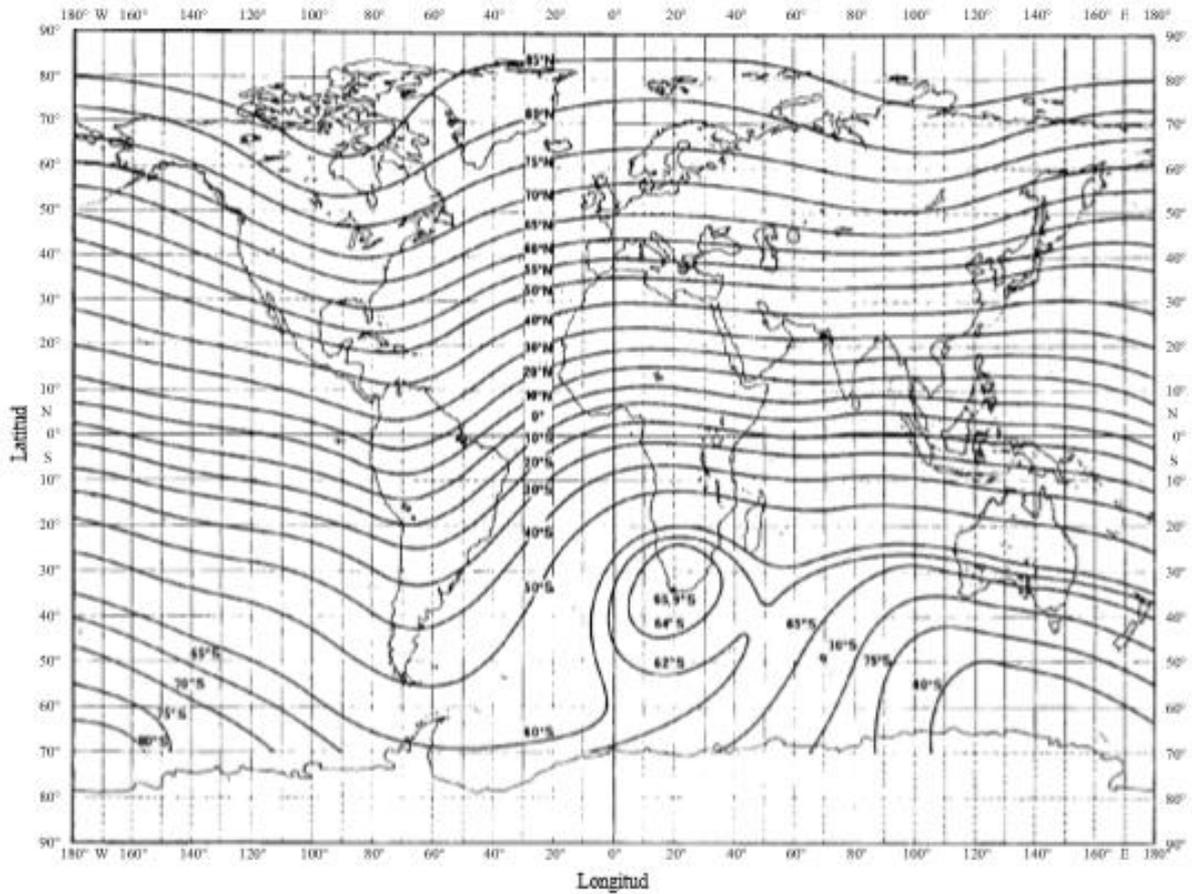


1147-11



# ANEXO II

Mapa de inclinación magnética (para 1975,0)



(Se ha obtenido de: Magnetic inclination or dip (epoch 1975.0) Chart No. 30 World U.S. Defense Mapping Agency Hydrographic Center)

1147-05



## ANEXO III

A continuación se detalla el procedimiento usado para el cálculo de la hora a la que suceden los eventos, es decir, la hora tanto del amanecer como del anochecer en el punto medio del trayecto que se esté estudiando en cada caso. Para ello, se realizará una explicación de forma genérica teniendo en cuenta que los valores introducidos en las fórmulas cambiarán según el caso con el que se esté trabajando.

Cabe recordar que la función que recoge los siguientes detalles recibe como parámetros las coordenadas de las ubicaciones de las dos estaciones, la distancia del trayecto y el uso horario del transmisor que dependerá de su situación geográfica.

Lo primero de todo es calcular las coordenadas del punto medio del trayecto, para lo cual se reciben los datos de los nodos.

El siguiente paso es, como ya se explicó en el punto 5.3.6 obtener mediante funciones internas de python una cadena de caracteres con información del día, mes, año, hora y minutos del momento justo en el que se ejecuta el programa para después trocearla y quedarnos con la información que nos interesa, siendo en este caso toda la información anterior citada pero almacenadas en variables por separado. En función del mes y día se determinará  $N$ , variable que contabiliza el número de días transcurridos que lleva el año, comprobando antes si el año en cuestión es bisiesto para tenerlo en cuenta. Se definirán otras constantes como  $Z$ , distancia cenital del sol, siendo de  $90.8333^\circ$  tanto para el amanecer como para el anochecer. Por último, tendremos  $S'$ , que valdrá  $6 h$  en el caso en el que se calcule la hora del orto o  $18 h$  cuando se calcule la hora del ocaso.

Como bien se explicó en el 5.3.6, no se podrá calcular la atenuación  $L_t$  para latitudes elevadas, marcando dicho límite en  $65^\circ$ , y siendo comparada con la latitud en el punto medio anteriormente calculada.

Se calcula la fecha del suceso,  $Y$ , siendo  $\beta$  la longitud del punto medio calculado y  $S'$  dependiendo de si el evento es el ocaso o el orto.

$$Y = N + \frac{\left(S' - \left(\beta/15\right)\right)}{24} \text{ (dias)} \quad (\text{I})$$

El siguiente paso es calcular la anomalía media del sol,  $M$ , y su longitud,  $L$ .

$$M = 0.9856 * Y - 3.289 \text{ (}^\circ\text{)} \quad (\text{II})$$

$$L = M + 1.916 * \sin(M) + 0.02 * \sin(2M) + 282.634 \text{ (}^\circ\text{)} \quad (\text{III})$$

El siguiente paso es determinar la ascensión recta del sol,  $RA$ , junto con su declinación,  $s$ , mediante:

$$RA = \tan^{-1}(0.91746 * \tan(L)) \text{ (}^\circ\text{)} \quad (\text{IV})$$

$$s = \sin^{-1}(0.39782 * \sin(L)) \text{ (}^\circ\text{)} \quad (\text{V})$$

Es importante resaltar que tanto  $L$  como  $RA$  deben pertenecer al mismo cuadrante, de no serlo, se ejecutarán sumas y restas de  $360^\circ$  hasta conseguirlo.

Uno de los últimos pasos es determinar la hora solar local,  $H$ , y la hora media local del suceso,  $S$  mediante:

$$H = \cos^{-1} \left( \frac{(\cos(Z) - \sin(s) * \sin(\alpha))}{(\cos(s) * \cos(\alpha))} \right) \text{ (}^\circ\text{)} \quad (\text{VI})$$

$$S = H/15 + RA/15 - 0.06571 * Y - 6.622 \text{ (h)} \quad (\text{VII})$$

Donde  $\alpha$  es la latitud del punto medio del trayecto y  $S$  debe pertenecer al rango  $0 < S < 24$ . Por último, para que este tiempo calculado represente el tiempo real local en el punto que estamos tratando se realiza la siguiente modificación y posteriormente se pasa a horas reales dentro del programa mediante [29].

$$S = S - B + \beta_m/15 - \beta/15 \text{ (h)} \quad (\text{VIII})$$

No le perdemos la perspectiva al procedimiento, aunque todas las fórmulas anteriores representen una determinada unidad, durante la ejecución del código son tipo *string*, por lo que para que realmente represente, en este caso,  $S$  horas hay que convertir de *string* a *float*. Llegados a este punto y según el valor de  $S$  que hayamos tomado el tiempo calculado será el del ocaso o el del orto en el punto medio del trayecto. El restarle la cantidad  $\beta/15$  (h) no es más que realizarle una corrección al procedimiento para tener en cuenta la franja horaria y que de este modo los cálculos coincidan con la realidad. Se debe tener en cuenta el tiempo utc (*Universal Time Coordinated*), es decir, asumir todas las variaciones posibles de horas que sufren los países a lo largo del año, como puede ser el horario de verano de España, que cambia de “franja horaria”

A continuación se presenta el código creado dividido en tres ficheros distintos para presentarlo de forma más limpia, legible y ordenado.

## main.py

```
from tkinter import *
from tkinter import messagebox
import sys
import math
from atenuations import *
from functions import *

raiz = Tk()
miFrame = Frame(raiz, width = 4000, height = 4000)
miFrame.pack()

messagebox.showinfo("Simulador de Python", "Bienvenido al simulador Python
para realizar una predicción de la intensidad de campo de la onda
ionosférica")
messagebox.showinfo("Simulador de Python", "A continuación deberá de
introducir una serie de valores para poder comenzar con el análisis")

#-----COLUMNNA 0-----#
FrecLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la frecuencia dentro del rango
150-1700 kHz (Hz): ")
FrecLabel.grid(row = 0, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

latTXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la latitud de la antena
transmisora en formato decimal: ")
latTXLabel.grid(row = 1, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

longTXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la longitud de la antena
transmisora en formato decimal: ")
longTXLabel.grid(row = 2, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

latRXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la latitud de la antena
receptora en formato decimal: ")
latRXLabel.grid(row = 3, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

longRXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la longitud de la antena
receptora en formato decimal: ")
```

```

longRXLabel.grid(row = 4, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

inclinacionTXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la inclinacion
magnetica en grados para el transmisor: ")
inclinacionTXLabel.grid(row = 5, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady =
5)

inclinacionRXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la inclinacion
magnetica en grados para el receptor: ")
inclinacionRXLabel.grid(row = 6, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady =
5)

potRadLabel = Label(miFrame, text = "Especifique la potencia radiada (dB) por
encima del valor de referencia (1dBkW): ")
potRadLabel.grid(row = 7, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

gvLabel = Label(miFrame, text = "Especifique el valor de la ganancia vertical
(dB): ")
gvLabel.grid(row = 8, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

ghLabel = Label(miFrame, text = "Especifique el valor de la ganancia
horizontal (dB): ")
ghLabel.grid(row = 9, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

decTXLabel = Label(miFrame, text = "Especifique el valor de la declinacion
magnetica para el transmisor en grados: ")
decTXLabel.grid(row = 10, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

decRXLabel = Label(miFrame, text = "Especifique el valor de la declinacion
magnetica para el receptor en grados: ")
decRXLabel.grid(row = 11, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

utcTXLabel = Label(miFrame, text = "Especifique la franja horaria del
transmisor: ")
utcTXLabel.grid(row = 12, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

utcPMLLabel = Label(miFrame, text = "Especifique la franja horaria del punto
medio del trayecto: ")
utcPMLLabel.grid(row = 13, column = 0, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

#-----COLUMN 1-----#

cuadroFrec = Entry(miFrame)
cuadroFrec.grid(row = 0, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroFrec.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroLatTX = Entry(miFrame)
cuadroLatTX.grid(row = 1, column = 1, padx = 5, pady = 5)

```

```
cuadroLatTX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroLongTX = Entry(miFrame)
cuadroLongTX.grid(row = 2, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroLongTX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroLatRX = Entry(miFrame)
cuadroLatRX.grid(row = 3, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroLatRX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroLongRX = Entry(miFrame)
cuadroLongRX.grid(row = 4, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroLongRX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroInclinacionTX = Entry(miFrame)
cuadroInclinacionTX.grid(row = 5, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroInclinacionTX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroInclinacionRX = Entry(miFrame)
cuadroInclinacionRX.grid(row = 6, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroInclinacionRX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroPotRad = Entry(miFrame)
cuadroPotRad.grid(row = 7, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroPotRad.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroGv = Entry(miFrame)
cuadroGv.grid(row = 8, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroGv.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroGh = Entry(miFrame)
cuadroGh.grid(row = 9, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroGh.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroDecTX = Entry(miFrame)
cuadroDecTX.grid(row = 10, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroDecTX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroDecRX = Entry(miFrame)
cuadroDecRX.grid(row = 11, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroDecRX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroUtcTX = Entry(miFrame)
cuadroUtcTX.grid(row = 12, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroUtcTX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroUtcPM = Entry(miFrame)
cuadroUtcPM.grid(row = 13, column = 1, padx = 5, pady = 5)
cuadroUtcPM.config(fg = "black", justify = "left")
```

```
#-----COLUMNA 2-----#

estacionLabel = Label(miFrame, text = "¿La estación receptora se encuentra
dentro de Europa?: ")
estacionLabel.grid(row = 0, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

omniLabel = Label(miFrame, text = "¿La antena transmisora es una antena
omnidireccional?: ")
omniLabel.grid(row = 1, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

dulceTXLabel = Label(miFrame, text = "¿El agua cerca del transmisor es
dulce?: ")
dulceTXLabel.grid(row = 2, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

dulceRXLabel = Label(miFrame, text = "¿El agua cerca del receptor es dulce?:
")
dulceRXLabel.grid(row = 3, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

golLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la ganancia debida a la
proximidad del mar (dB): ")
golLabel.grid(row = 4, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

marLatTXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la latitud en formato
decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar: ")
marLatTXLabel.grid(row = 5, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

marLongTXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la longitud en formato
decimal para el punto mas proximo desde el transmisor al mar: ")
marLongTXLabel.grid(row = 6, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

seccLatTXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la latitud en formato
decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion
de tierra: ")
seccLatTXLabel.grid(row = 7, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

seccLongTXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la longitud en formato
decimal para el punto mas proximo desde el transmisor a la siguiente seccion
de tierra: ")
seccLongTXLabel.grid(row = 8, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

marLatRXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la latitud en formato
decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar: ")
marLatRXLabel.grid(row = 9, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

marLongRXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la longitud en formato
decimal para el punto mas proximo desde el receptor al mar: ")
marLongRXLabel.grid(row = 10, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)
```

```
seccLatRXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la latitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra: ")
seccLatRXLabel.grid(row = 11, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

seccLongRXLabel = Label(miFrame, text = "Introduzca la longitud en formato decimal para el punto mas proximo desde el receptor a la siguiente seccion de tierra: ")
seccLongRXLabel.grid(row = 12, column = 2, sticky = "w", padx = 5, pady = 5)

#-----COLUMNNA 3-----#

cuadroGol = Entry(miFrame)
cuadroGol.grid(row = 4, column = 3, padx = 5, pady = 5)
cuadroGol.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroMarLatTX = Entry(miFrame)
cuadroMarLatTX.grid(row = 5, column = 3, padx = 5, pady = 5)
cuadroMarLatTX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroMarLongTX = Entry(miFrame)
cuadroMarLongTX.grid(row = 6, column = 3, padx = 5, pady = 5)
cuadroMarLongTX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroSeccLatTX = Entry(miFrame)
cuadroSeccLatTX.grid(row = 7, column = 3, padx = 5, pady = 5)
cuadroSeccLatTX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroSeccLongTX = Entry(miFrame)
cuadroSeccLongTX.grid(row = 8, column = 3, padx = 5, pady = 5)
cuadroSeccLongTX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroMarLatRX = Entry(miFrame)
cuadroMarLatRX.grid(row = 9, column = 3, padx = 5, pady = 5)
cuadroMarLatRX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroMarLongRX = Entry(miFrame)
cuadroMarLongRX.grid(row = 10, column = 3, padx = 5, pady = 5)
cuadroMarLongRX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroSeccLatRX = Entry(miFrame)
cuadroSeccLatRX.grid(row = 11, column = 3, padx = 5, pady = 5)
cuadroSeccLatRX.config(fg = "black", justify = "left")

cuadroSeccLongRX = Entry(miFrame)
cuadroSeccLongRX.grid(row = 12, column = 3, padx = 5, pady = 5)
cuadroSeccLongRX.config(fg = "black", justify = "left")
```

```

#-----COLUMNAS PARA LOS RADIOBUTTONS-----#

varOption = IntVar()
varOption1 = IntVar()
varOption2 = IntVar()
varOption3 = IntVar()

#1 implica si; 0 implica no
r1 = Radiobutton(miFrame, text = "Si", variable = varOption, value = 1)
r1.grid(row = 0, column = 3, sticky = "w")
r2 = Radiobutton(miFrame, text = "No", variable = varOption, value = 0)
r2.grid(row = 0, column = 3, sticky = "e")

r3 = Radiobutton(miFrame, text = "Si", variable = varOption1, value = 1)
r3.grid(row = 1, column = 3, sticky = "w")
r4 = Radiobutton(miFrame, text = "No", variable = varOption1, value = 0)
r4.grid(row = 1, column = 3, sticky = "e")

r5 = Radiobutton(miFrame, text = "Si", variable = varOption2, value = 1)
r5.grid(row = 2, column = 3, sticky = "w")
r6 = Radiobutton(miFrame, text = "No", variable = varOption2, value = 0)
r6.grid(row = 2, column = 3, sticky = "e")

r7 = Radiobutton(miFrame, text = "Si", variable = varOption3, value = 1)
r7.grid(row = 3, column = 3, sticky = "w")
r8 = Radiobutton(miFrame, text = "No", variable = varOption3, value = 0)
r8.grid(row = 3, column = 3, sticky = "e")

#-----FUNCIONES-----#
def clicked():

    freq = float(cuadroFrec.get())

    latTX = float(cuadroLatTX.get())

    longTX = float(cuadroLongTX.get())

    latRX = float(cuadroLatRX.get())

    longRX = float(cuadroLongRX.get())

    estacion = varOption.get()

    if estacion == 1:
        estacion = "s"

```

```
else:
    estacion = "n"

ITX = float(cuadroInclinacionTX.get())

IRX = float(cuadroInclinacionRX.get())

omni = varOption1.get()

if omni == 1:
    omni = "s"
else:
    omni = "n"

potRad = float(cuadroPotRad.get())

Gv = float(cuadroGv.get())

Gh = float(cuadroGh.get())

dulceTX = varOption2.get()

if dulceTX == 1:
    dulceTX = "s"
else:
    dulceTX = "n"

dulceRX = varOption3.get()

if dulceRX == 1:
    dulceRX = "s"
else:
    dulceRX = "n"

Go1 = float(cuadroGo1.get())

marLatTX = float(cuadroMarLatTX.get())

marLongTX = float(cuadroMarLongTX.get())

seccLatTX = float(cuadroSeccLatTX.get())

seccLongTX = float(cuadroSeccLongTX.get())

marLatRX = float(cuadroMarLatRX.get())

marLongRX = float(cuadroMarLongRX.get())

seccLatRX = float(cuadroSeccLatRX.get())
```

```

seccLongRX = float(cuadroSeccLongRX.get())

decTX = float(cuadroDecTX.get())

decRX = float(cuadroDecRX.get())

utc_zone = float(cuadroUtcTX.get())

utc_zone_PM = float(cuadroUtcPM.get())

#En este punto debemos continuar con la ejecucion del programa puesto que
ya hemos configurado todas las variables
callStart(freq, latTX, latRX, longTX, longRX, estacion, ITX, IRX, omni,
potRad, Gv, Gh, dulceTX, dulceRX, Gol, marLatTX, marLongTX, seccLatTX,
seccLongTX, marLatRX, marLongRX, seccLatRX, seccLongRX, decTX, decRX,
utc_zone, utc_zone_PM)

def callStart(freq, latTX, latRX, longTX, longRX, estacion, ITX, IRX, omni,
potRad, Gv, Gh, dulceTX, dulceRX, Gol, marLatTX, marLongTX, seccLatTX,
seccLongTX, marLatRX, marLongRX, seccLatRX, seccLongRX, decTX, decRX,
utc_zone, utc_zone_PM):
    c = float(3e8)
    #lamb = c / freq

    #comprobamos que el rango de frecuencias es el correcto
    if (freq < 150000 or freq > 1700000):
        messagebox.showinfo("Simulador de Python", "La frecuencia
introducida no cumple con los limites establecidos.")
    else:
        #datos para la estacion transmisora y receptora
        #h_TX = float(input("Introduzca la altura de la antena
transmisora (mástil) en metros: "))
        #h_RX = float(input("Introduzca la altura de la antena
receptora (mástil) en metros: "))

        #Comprobamos que las latitudes introducidas cumplen con el
limite maximo de grados posibles
        #Como se puede apreciar por ejemplo en las figuras 5,6,10 de
la norma, en caso contrario, se finalizaria el programa
        if abs(latTX) > 90:
            messagebox.showinfo("Simulador de Python", "La latitud
correspondiente al transmisor no puede ser mayor de 90 grados.")

        elif abs(latRX) > 90:
            messagebox.showinfo("Simulador de Python", "La latitud
correspondiente al receptor no puede ser mayor de 90 grados.")

```

```
elif abs(longTX) > 180:
    messagebox.showinfo("Simulador de Python", "La
longitud correspondiente al transmisor no puede ser mayor de 180 grados.")

elif abs(longRX) > 180:
    messagebox.showinfo("Simulador de Python", "La
longitud correspondiente al receptor no puede ser mayor de 180 grados.")

else:

    #comprobamos que tanto el tx como el rx poseen
ubicaciones distintas
    if latTX == latRX:
        if longTX == longRX:
            messagebox.showinfo("Simulador de
Python", "La ubicacion del transisor y receptor debe ser distinta.")

        #comprobamos con que tipo de onda estamos trabajando
        #Ya damos por hecho que el rango de frecuencias es el
correcto, de lo contrario habria finalizado el programa
        if (30000 <= freq and freq <= 300000):
            banda = "KM"
        else:
            banda = "HM"

        #obtenemos la distancia del enlace en km
        distancia = distance(latTX, longTX, latRX, longRX)

        #comprobamos que la distancia cumple los limites
establecidos por la norma (km)
        if (distancia < 50 or distancia > 12000):
            messagebox.showinfo("Simulador de Python", "La
distancia debe de estar dentro del rango 50-12000 km.")

        elif (distancia > 7500 and banda == "KM"):
            messagebox.showinfo("Simulador de Python",
"Para la banda kilométrica la distancia no puede ser superior a 7500 km.")

        else:
            #el siguiente paso es obtener la distancia real
del trayecto

            p = trayectoProp_P(distancia)

            #Llamamos a la funcion correspondiente para
obtener el numero de manchas solares suavizado
            R = media_R()

            #Llamamos a la funcion distance para obtener
las distancias necesarias para que se pueda ejecutar la funcion Gs
```

```

        #ya que esta necesita las distancias desde las
estaciones al mar y a la siguiente seccion de tierra dentro del circulo
        #maximo, y esa funcion emplea dicho metodo para
calcular distancias, tanto para TX como para RX

s1TX = distance(latTX, longTX, marLatTX,
marLongTX)

s2TX = distance(latTX, longTX, seccLatTX,
seccLongTX)

s1RX = distance(marLatRX, marLongRX, latRX,
longRX)

s2RX = distance(seccLatRX, seccLongRX, latRX,
longRX)

        #ya tenemos p, que junto con los datos que ya
tenemos se usara para llamar a las funciones encargadas de realizar las
llamadas a funciones

        #en los otros archivos
        #comenzamos con el archivo
atenuations_Functions, que devuelve la suma de todas las atenuaciones
presentes en la norma

L1 = callAtenuations(p, freq, latTX, longTX,
latRX, longRX, banda, estacion, distancia, R, ITX, IRX, decTX, decRX,
utc_zone, utc_zone_PM)

        #puesto que hemos devuelto una tupla, sumamos
todos los valores

L = L1[0] + L1[1] + L1[2] + L1[3]
        #realizamos lo mismo pero con el otro archivo,
que devuelve la suma de algunos parametros

F1 = callSome(freq, latTX, longTX, latRX,
longRX, banda, distancia, omni, potRad, Gv, Gh, dulceTX, dulceRX, s1TX, s2TX,
s1RX, s2RX, Go1)

        #puesto que hemos devuelto una tupla, sumamos
todos los valores

F = F1[0] + F1[1]

        #El siguiente paso seria calcular el valor de A
correspondiente que usa la formula principal

        #Para ello debemos de calcular el punto medio
del trayecto, ya que depende de donde este situado valdra

        #un valor u otro, siempre y cuando trabajemos
en onda hectometrica

if banda == "KM":
    A = 110.2

else:

```

```

                                #latitud y longitud del punto medio
general

                                latPM = (latTX + latRX)/2
                                longPM = (longTX + longRX)/2

                                #Lo siguiente seria comprobar si esta
al sur del paralelo 11° dentro de la Region 3 definida por la ITU-R
                                if longPM > 60 or longPM < -120:
                                    if latPM < -11:
                                        A = 110
                                    else:
                                        A = 107
                                else:
                                    A = 107

                                print("A: ", A)
                                print("Distancia real del trayecto de
propagación, p (km) : ", p)

                                #Una vez tenemos ya todos los parametros lo
siguiente es usar la formula principal y calcular el campo
                                #Le restamos 120 para pasarlo de dBmicroV a dBV
ya que no tengo forma de expresar el caracter griego
                                E = A + F - L - 20*math.log10(p) -120
                                print("Valor mediano anual de las intensidades
de campo medianas semihorarias, E (dBV/m) : ", E)

                                return

btn = Button(miFrame, text = "Listo", command = clicked)
btn.grid(column = 2, row = 13)

raiz.mainloop()
```

## atenuations.py

```
import math
import sys
import time
from tkinter import *
from functions import *
import datetime
from datetime import datetime
```

```

#Funcion encargada de llamar a todas las demas para obtener los datos
necesarios
def callAtenuations(p, freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda, estacion,
distancia, R, ITX, IRX, decTX, decRX, utc_zone, utc_zone_PM):

    #con los parametros recibidos comenzamos a llamar a todas las
funciones definidas aqui
    La = absIonosf_La(p, latTX, longTX, latRX, longRX, distancia)
    print("Atenuación debida a la absorción ionosférica y factores
conexos, La (dB) : ",La)
    Lr = activSolar_Lr(p, freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda,
estacion, distancia, R)
    print("Atenuación debida al efecto de la actividad solar, Lr (dB) :
",Lr)
    Lp = acoplaPol_Lp(banda, ITX, IRX, latTX, longTX, latRX, longRX,
decTX, decRX)
    print("Atenuación debida a la pérdida por acoplamiento de
polarización, Lp (dB) : ",Lp)
    Lt = perd_Lt(latTX, longTX, latRX, longRX, distancia, utc_zone,
utc_zone_PM)
    print("Atenuación debida a la pérdida horaria, Lt (dB) : ", Lt)

    #devolvemos los valores en una tupla por si tenemos que hacer uso de
ellos por separado
    L = [La, Lr, Lp, Lt]

    return L

#Funcion que se encarga de determinar los efectos de la absorcion
ionosferica, enfoque,
#perdidas del terminal y perdidas entre secciones de multiples saltos
#Recibe como parametro de entrada la distancia real del trayecto de
propagacion, latitud y longitud de la estacion TX y RX y la distancia
#Las coordenadas Norte y Este se consideran positivas, el resto negativas,
aunque al introducirlas por teclado
#al principio del programa ya estamos teniendo en cuenta dicha informacion
def absIonosf_La(p, latTX, longTX, latRX, longRX, distancia):

    #si distancia es mayor que 3000 km debemos de calcular el punto medio
de los dos trayectos en los que se
    #dividira el trayecto
    if distancia > 3000:
        #latitud y longitud del punto medio general
        latPM = (latTX + latRX)/2
        longPM = (longTX + longRX)/2

```

```
#calculamos ahora la latitud y longitud del punto medio del
primer trayecto
latPM1 = (latTX + latPM)/2
longPM1 = (longTX + longPM)/2

#calculamos ahora la latitud y longitud del punto medio del
segundo trayecto
latPM2 = (latPM + latRX)/2
longPM2 = (longPM + longRX)/2

#calculamos la latitud geomagnetica de cada trayecto dividido
rad=math.pi/180
a1 = math.sin(rad*latPM1)*math.sin(rad*78.5)
b1 =
math.cos(rad*latPM1)*math.cos(rad*78.5)*math.cos((rad*69)+(rad*longPM1))
latGeo1 = math.asin(a1+b1)

if math.degrees(latGeo1) < -60:
    latGeo1 = -60
elif math.degrees(latGeo1) > 60:
    latGeo1 = 60
else:
    latGeo1 = math.degrees(latGeo1)

k1 =
(2*math.pi+4.95*math.tan(rad*latGeo1)*math.tan(rad*latGeo1))

#vamos con el segundo trayecto
a2 = math.sin(rad*latPM2)*math.sin(rad*78.5)
b2 =
math.cos(rad*latPM2)*math.cos(rad*78.5)*math.cos((rad*69)+(rad*longPM2))
latGeo2 = math.asin(a2+b2)

if math.degrees(latGeo2) < -60:
    latGeo2 = -60
elif math.degrees(latGeo2) > 60:
    latGeo2 = 60
else:
    latGeo2 = math.degrees(latGeo2)

k2 =
(2*math.pi+4.95*math.tan(rad*latGeo2)*math.tan(rad*latGeo2))

#el valor de k sera la media entre los valores anteriores
calculados
k = (k1 + k2)/2

#y por ultimo calculamos las perdidas
La = k*math.sqrt(p/1000)
```

```

else:

    latPM = (latTX + latRX)/2
    longPM = (longTX + longRX)/2

    #calculamos la latitud geomagnetica del trayecto
    rad=math.pi/180
    a = math.sin(rad*latPM)*math.sin(rad*78.5)
    b =
math.cos(rad*latPM)*math.cos(rad*78.5)*math.cos((rad*69)+(rad*longPM))
    latGeo = math.asin(a + b)

    if math.degrees(latGeo) < -60:
        latGeo = -60
    elif math.degrees(latGeo) > 60:
        latGeo = 60
    else:
        latGeo = math.degrees(latGeo)

    k = (2*math.pi+4.95*math.tan(rad*latGeo)*math.tan(rad*latGeo))

    #y por ultimo calculamos las perdidas
    La = k*math.sqrt(p/1000)

return La

#Funcion que incorpora el efecto de la actividad solar
#Recibira como parametro la distancia real del trayecto ya calculada,
frecuencia, posiciones y banda de frecuencia, si la estacion
#receptora pertenece a Europa, la distancia y el valor de las manchas solares
suavizado en R
#Se debera diferenciar la region europea puesto que cambiara el parametro b
dentro de ella
def activSolar_Lr(p, freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda, estacion,
distancia, R):

    #si distancia es mayor que 3000 km debemos dividir el trayecto en dos
tramos
    if distancia > 3000:
        latPM = (latTX + latRX)/2
        longPM = (longTX + longRX)/2

        #calculamos ahora la latitud y longitud del punto medio del
primer trayecto
        latPM1 = (latTX + latPM)/2
        longPM1 = (longTX + longPM)/2

```

Simulador en Python para el cálculo de la intensidad de campo de la onda ionosférica según la Rec.85  
ITU-R P.1147

```
#calculamos ahora la latitud y longitud del punto medio del
segundo trayecto
latPM2 = (latPM + latRX)/2
longPM2 = (longPM + longRX)/2

#calculamos la latitud geomagnetica de cada trayecto dividido
rad = math.pi/180
a1 = math.sin(rad*latPM1)*math.sin(rad*78.5)
b1 =
math.cos(rad*latPM1)*math.cos(rad*78.5)*math.cos((rad*69)+(rad*longPM1))
latGeo1 = math.asin(a1+b1)

#Realizamos las comprobaciones pertinentes
if math.degrees(latGeo1) < -60:
    latGeo1 = -60
elif math.degrees(latGeo1) > 60:
    latGeo1 = 60
else:
    latGeo1 = math.degrees(latGeo1)

#vamos con el segundo trayecto
a2 = math.sin(rad*latPM2)*math.sin(rad*78.5)
b2 =
math.cos(rad*latPM2)*math.cos(rad*78.5)*math.cos((rad*69)+(rad*longPM2))
latGeo2 = math.asin(a2+b2)

#Realizamos las comprobaciones pertinentes
if math.degrees(latGeo2) < -60:
    latGeo2 = -60
elif math.degrees(latGeo2) > 60:
    latGeo2 = 60
else:
    latGeo2 = math.degrees(latGeo2)

#vamos con el primer tramo
if banda == "KM":
    Lr1 = 0

else:
    if abs(latGeo1) <= 45:
        Lr1 = 0

    else:
        #Preguntamos si la estacion receptora se
encuentra en Europa
        if estacion == "s":
            b = 1
            Lr1 = b*(R/100)*((p/2)/1000)
```

```

        else:
            b = (abs(latGeo1)-45)/3
            Lr1 = b*(R/100)*((p/2)/1000)

            #vamos con el segundo tramo
            if banda == "KM":
                Lr2 = 0

            else:
                if abs(latGeo2) <= 45:
                    Lr2 = 0

                else:
                    #Preguntamos si la estacion receptora se
encuentra en Europa
                    if estacion == "s":
                        b = 1
                        Lr2 = b*(R/100)*((p/2)/1000)
                    else:
                        b = (abs(latGeo2)-45)/3
                        Lr2 = b*(R/100)*((p/2)/1000)

            #el valor final es la suma de ambos
            Lr = Lr1 + Lr2

    else:
        #en este caso no se divide en dos tramos, tenemos unicamente
un tramo

        #calculamos lat y long del punto medio
        latPM = (latTX + latRX)/2
        longPM = (longTX + longRX)/2

        #calculamos la latitud geomagnetica del trayecto
        rad = math.pi/180
        a = math.sin(rad*latPM)*math.sin(rad*78.5)
        c =
math.cos(rad*latPM)*math.cos(rad*78.5)*math.cos((rad*69)+(rad*longPM))
        latGeo = math.asin(a+c)

        #Realizamos las comprobaciones pertinentes
        if math.degrees(latGeo) < -60:
            latGeo = -60
        elif math.degrees(latGeo) > 60:
            latGeo = 60
        else:
            latGeo = math.degrees(latGeo)

        #vamos con el unico tramo
        if banda == "KM":

```

```
Lr = 0

else:
    if abs(latGeo) <= 45:
        Lr = 0

    else:
        #Preguntamos si la estacion receptora se
encuentra en Europa

        if estacion == "s":
            b = 1
            Lr = b*(R/100)*(p/1000)

        else:
            b = (abs(latGeo)-45)/3
            Lr = b*(R/100)*(p/1000)

return Lr

#Funcion que calcula las perdidas por acoplamiento de polarizacion
#Recibira como parametro la banda de frecuencia, las inclinaciones de ambos
terminales, sus posiciones y sus
#respectivas declinaciones
def acoplaPol_Lp(banda, ITX, IRX, latTX, longTX, latRX, longRX, decTX,
decRX):

    #Programamos el calculo del azimuth respecto a la direccion este-oeste
a traves de los apuntes de Satelites
    rad = math.pi/180

    #Lo primero de todo es determinar quien es cada estacion en funcion de
la ubicacion de estos
    #Si al menos 1 punto esta en el HN, este sera B; si estan los dos sera
el mas cercano al PN y si estan los dos en el HS
    #el mas cercano al PS sera B. Se considerara B aquella que este mas
cerca de los polos
    if latTX and latRX > 0:
        mark = 1
        #estan los dos en el HN, se busca B en funcion de aquella que
mas se acerque al PN
        distanciatx = distance(latTX, longTX, 90, 0)
        distanciarx = distance(latRX, longRX, 90, 0)

        if distanciatx < distanciarx:
            #B sera el transmisor
            Lb = latTX
            lb = longTX
            La = latRX
            la = longRX
```

```

        B = "TX"

    else:
        #B sera el receptor
        Lb = latRX
        lb = longRX
        La = latTX
        la = longTX
        B = "RX"

elif latTX and latRX < 0:
    mark = 2
    #ambas estaciones estaran en el HS, aquella mas cercana al PS
sera B

    distanciadx = distance(latTX, longTX, -90, 0)
    distanciary = distance(latRX, longRX, -90, 0)

    if distanciadx < distanciary:
        #B sera el transmisor
        Lb = latTX
        lb = longTX
        La = latRX
        la = longRX
        B = "TX"

    else:
        #B sera el receptor
        Lb = latRX
        lb = longRX
        La = latTX
        la = longTX
        B = "RX"

else:
    mark = 3
    #aquella mas cercana al PN sera B. En este caso solo tendremos
una estacion en el HN y otra en el HS

    if latTX > latRX :
        #B sera el transmisor
        Lb = latTX
        lb = longTX
        La = latRX
        la = longRX
        B = "TX"

    else:
        #B sera el receptor
        Lb = latRX

```

```
        lb = longRX
        La = latTX
        la = longTX
        B = "RX"

    #Ya tenemos definido quien es B en todos los casos, empezamos a
    calcular ahora

    #Para calcular C
    if abs(la - lb) <= 180:
        C = abs(la - lb)
    else:
        C = abs(360 - abs(la - lb))

    if mark == 1 or mark == 3:
        L1 = La
        L2 = Lb
    else:
        L1 = abs(La)
        L2 = abs(Lb)

    #calculamos X e Y de manera general independientemente del caso en el
    que estemos

    n1 = (math.sin(0.5*rad*(L2 -
L1)))/(math.tan(rad*0.5*C)*math.cos(rad*0.5*(L2 + L1))) #rad
    n2 = (math.cos(0.5*rad*(L2 -
L1)))/(math.tan(rad*0.5*C)*math.sin(rad*0.5*(L2 + L1))) #rad

    X1 = math.atan(n2) - math.atan(n1)
    Y1 = math.atan(n1) + math.atan(n2)

    X = math.degrees(X1)
    Y = math.degrees(Y1)

    if mark == 1 or mark == 3:
        if lb > la:
            az = 360 - Y
            az1 = X

        else:
            az = Y
            az1 = 360 - X

    else:
        if lb > la:
```

```

        az = 180 + Y
        az1 = 180 - X

    else:
        az = 180 - Y
        az1 = 180 + X

    if B == "RX":
        #Cuando el RX se encuentra mas cerca del polo se invierte los
angulos para que no realice el calculo al contrario
        a = az
        b = az1
        az = b
        az1 = a

    #Los nombramos correctamente para evitar confusiones
    azTX = az
    azRX = az1

    #El siguiente paso es corregirle el desvio que se produce a costa de
la declinacion magnetica
    if decTX > 0:
        titaTX1 = azTX - decTX
    else:
        titaTX1 = azTX + abs(decTX)

    if decRX > 0:
        titaRX1 = azRX - decRX
    else:
        titaRX1 = azRX + abs(decRX)

    #Ya tenemos los angulos de los acimuts corregidos. El siguiente paso
es calcularlo respecto a la direccion magnetica E-W
    #Para ello, dependiendo del cuadrante en el que se encuentre se
realiza la resta correspondiente (a 90 0 270 grados)

    #Vamos primero para el TX
    if titaTX1 < 90:
        titaTX = 90 - titaTX1
    elif titaTX1 < 180:
        titaTX = titaTX1 - 90
    elif titaTX1 < 270:
        titaTX = 270 - titaTX1
    else:
        titaTX = titaTX1 - 270

    #Se repiten los mismos pasos para el RX

```

```
if titaRX1 < 90:
    titaRX = 90 - titaRX1
elif titaRX1 < 180:
    titaRX = titaRX1 - 90
elif titaRX1 < 270:
    titaRX = 270 - titaRX1
else:
    titaRX = titaRX1 - 270

#Comprobamos que se cumple la condicion que se debe de ser menor en
valor absoluto de 90 grados, de lo contrario
#finalizaria el programa

if (abs(titaTX) or abs(titaRX)) > 90:
    sys.exit()

else:
    #se debe de evaluar tanto para TX como para RX
    #vamos para el TX
    if banda == "KM":
        LpTX = 0
    else:
        if ITX <= 45:
            LpTX = 180*(36 + titaTX**2 + ITX**2)**(-0.5) -
2
        else:
            LpTX = 0

    #vamos para el RX
    if banda == "KM":
        LpRX = 0
    else:
        if IRX <= 45:
            LpRX = 180*(36 + titaRX**2 + IRX**2)**(-0.5) -
2
        else:
            LpRX = 0

    Lp = LpTX + LpRX

return Lp

#Funcion que se encarga de calcular la media de R en funcion del mes en que
se produzca la transmision
def media_R():
```

```

#Lo primero que hara la funcion es comprobar el mes en que se produce
la transmision, y en funcion de esa
#informacion y de los datos que tenemos de la web SpaceWeatherLive se
calcula el valor R, numero de manchas solares
#suavizado, y cuya informacion sera a partir de 1995 hasta 2017
fecha = time.strptime("%d/%m/%y")

#obtenemos el mes. Usamos el metodo split para separar la cadena
fechav2 = fecha.split("/")
mes = int(fechav2[1])

#El siguiente paso, es seleccionar el mes correspondientes, una vez ya
tenemos la media calculada de manchas solares por mes
#Aunque en el calculo de la media de R salgan decimales, aproximamos
al entero por abajo
if mes == 1:
    R = 68
elif mes == 2:
    R = 68
elif mes == 3:
    R = 68
elif mes == 4:
    R = 68
elif mes == 5:
    R = 68
elif mes == 6:
    R = 68
elif mes == 7:
    R = 68
elif mes == 8:
    R = 68
elif mes == 9:
    R = 68
elif mes == 10:
    R = 67
elif mes == 11:
    R = 67
else:
    R = 68

return R

#Fucion encargada de calcular las perdidas horarias relacionadas con la
ubicacion del transmisor y la hora a la que se transmite
#Recibe para ello las ubicaciones, distancia del trayecto y uso horario del
TX. Tras seguir el procedimiento descrito
#en el anexo 3 se obtiene tanto la hora de amanecer como la de anochecer y,
dependiendo de la hora a la que se ejecute el

```

```
#programa, t tomara un valor u otro y de ello dependera el valor de
atenuacion que se calcule. Sera independiente de la freq
def perd_Lt(latTX, longTX, latRX, longRX, distancia, utc_zone, utc_zone_PM):

    #tomamos como punto de referencia el punto medio del trayecto para
    calcular la hora de puesta/salida del sol
    lat = (latTX + latRX)/2
    long = (longTX + longRX)/2

    #obtenemos los datos de la fecha actual con los valores separados
    #Para periodos en los que no se aprecia la puesta salida del Sol no se
    debe calcular el factor de perdida horaria
    #Basandonos en la fig.11 -> dias 6 y 18 de marzo y septiembre
    ahora = datetime.now()
    y = int(ahora.year)
    m = int(ahora.month)
    d = int(ahora.day)

    #crompobamos que no estamos en nignuno de esos dias; en caso de estarlo
    activamos una bandera para evitar
    #entrar en el procedimiento del calculo

    bandera = 0

    if m == 3 or m == 9:
        if d == 6 or d == 18:
            bandera = 1 #realmente esta bandera no haria falta puesto que
            si estamos en esos dias se sale del programa
            sys.exit()

    #segun la norma, para latitudes menores a 65 grados
    if abs(lat) < 65 and bandera == 0:

        #cogemos hora local justo en el momento de la ejecucion del programa
        trxhour = ahora.hour
        trxminute = ahora.minute

        #definimos las variables necesarias para la ejecucion de la funcion
        Z = 90.833

        #definimos una variable para realizar los calculos con las funciones
        trigonometricas
        rad = math.pi/180

        #calculamos el numero de dia del año comprobando si el año en
        cuestion es bisiesto
        if y % 4 == 0:
            if y % 100 == 0:
                if y % 400 == 0:
```

```

        #El año es bisiesto
        bandera = 1
    else:
        #el año no es bisiesto
        bandera = 0
else:
    #el año es bisiesto
    bandera = 1
else:
    #el año no es bisiesto
    bandera = 0

#Ya tenemos si el año es bisiesto, por lo que solo falta sumar el
computo total de dias, en funcion del numero de meses
#que llevan pasados, a la cual la denominaremos N
if m == 1:
    N = d
elif m == 2:
    N = 31 + d
elif m == 3:
    N = 59 + d
elif m == 4:
    N = 90 + d
elif m == 5:
    N = 120 + d
elif m == 6:
    N = 151 + d
elif m == 7:
    N = 181 + d
elif m == 8:
    N = 212 + d
elif m == 9:
    N = 243 + d
elif m == 10:
    N = 273 + d
elif m == 11:
    N = 304 + d
else:
    N = 334 + d

#Se tiene en cuenta el 1 de mas en año bisiesto
if bandera == 1 and m > 2:
    N = N + 1

#1) Calculamos la longitud del observador, B (horas)
B = long/15

#2) Calculamos la fecha del suceso, Y (dias)
Yaman = N + ((6 - B)/24)

```

```
Yanoc = N + ((18 - B)/24)

#3) Calculamos la anomalia media del sol, M (grados)
Maman = (0.9856*Yaman) - 3.289
Manoc = (0.9856*Yanoc) - 3.289

#4) Se calcula la longitud del sol, L (grados) -> debe pertenecer al
rango [0,360]
L1 = Maman + 1.916*math.sin(rad*Maman) + 0.02*math.sin(2*rad*Maman) +
282.634
L2 = Manoc + 1.916*math.sin(rad*Manoc) + 0.02*math.sin(2*rad*Manoc) +
282.634

#hacemos que pertenezca a ese rango en caso de no serlo
if L1 < 0:
    Laman = L1 + 360
elif L1 > 360:
    Laman = L1 - 360
else:
    Laman = L1

#repetimos procedimiento para la otra variable
#hacemos que pertenezca a ese rango en caso de no serlo
if L2 < 0:
    Lanoc = L2 + 360
elif L2 > 360:
    Lanoc = L2 - 360
else:
    Lanoc = L2

#5) Calculamos la ascension del Sol, RA (grados)
RA1 = math.degrees(math.atan(0.91764 * math.tan(rad*Laman)))
RA2 = math.degrees(math.atan(0.91764 * math.tan(rad*Lanoc)))

#como antes, hacemos que pertenezca al rango [0,360]
if RA1 < 0:
    RAaman = RA1 + 360
elif RA1 > 360:
    RAaman = RA1 - 360
else:
    RAaman = RA1

#como antes, hacemos que pertenezca al rango [0,360]
if RA2 < 0:
    RAanoc = RA2 + 360
elif RA2 > 360:
    RAanoc = RA2 - 360
else:
    RAanoc = RA2
```

```

#RA debe pertenecer al mismo cuadrante que L
L_quad_aman = (math.floor(Laman/90))*90
RA_quad_aman = (math.floor(RAaman/90))*90
RAaman = RAaman + (L_quad_aman - RA_quad_aman)

#duplicamos procedimiento
#RA debe pertenecer al mismo cuadrante que L
L_quad_anoc = (math.floor(Lanoc/90))*90
RA_quad_anoc = (math.floor(RAanoc/90))*90
RAanoc = RAanoc + (L_quad_anoc - RA_quad_anoc)

#convertimos RA a horas
RAaman = RAaman / 15
RAanoc = RAanoc / 15

#6) Calculamos la declinacion del sol, s
sensaman = 0.39782 * math.sin(rad*Laman)
cossaman = math.cos(math.asin(sensaman))
sensanoc = 0.39782 * math.sin(rad*Lanoc)
cossanoc = math.cos(math.asin(sensanoc))

#7) Se calcula la hora solar local, H
Haman = (math.cos(rad*Z) - (sensaman * math.sin(rad*lat))) / (cossaman
* math.cos(rad*lat))
Hanoc = (math.cos(rad*Z) - (sensanoc * math.sin(rad*lat))) / (cossanoc
* math.cos(rad*lat))

# Extremo norte/sur no se produce ocaso/orto
if Haman > 1 or Hanoc > 1:
    sys.exit()
elif Haman < -1 or Hanoc < -1:
    sys.exit()

#8) Se calcula la hora media local del suceso
#si es amanecer
sun_local_hour_aman = (360 - math.degrees(math.acos(Haman))) / 15

#si es anochecer
sun_local_hour_anoc = math.degrees(math.acos(Hanoc)) / 15

evento_aman = sun_local_hour_aman + RAaman - (0.06571 * Yaman) -
6.622
evento_anoc = sun_local_hour_anoc + RAanoc - (0.06571 * Yanoc) -
6.622

#hora final; hora amanecer/anochecer

```

```
time_utc_aman = evento_aman - (long / 15) + utc_zone
result_aman = '{0:02.0f}:{1:02.0f}'.format(*divmod(time_utc_aman*60,
60))

time_utc_anoc = evento_anoc - (long / 15) + utc_zone
result_anoc = '{0:02.0f}:{1:02.0f}'.format(*divmod(time_utc_anoc*60,
60))

#imprimimos directamente la hora del amanecer
print("Hora del amanecer: ", result_aman)

#Para el anochecer hay que realizar un procedimiento previo
#debemos de restar a 24:00h, para ello creamos dos variables enteras
horal = 24

#separamos la cadena que debemos de restar a 24:00h en hora y minutos
cad = result_anoc.split(':')
localhora = int(cad[0])
localminut = int(cad[1])

#si los minutos son 60 se pone 00
if localminut == 60:
    localminut = 0

#se suma porque la hora esta negativa al ser anochecer; con los
minutos no porque el signo de restar
#se quedo en la variable de horas
hora11 = str(horal + localhora)
minut = str(localminut)

#si la variable minut tiene un unico digito hay que añadirle un cero
por la izquierda
if minut == "1" or minut == "2" or minut == "3" or minut == "4" or
minut == "5" or minut == "6" or minut == "7" or minut == "8" or minut == "9"
or minut == "0":
    minut1 = str(0) + minut
    anochece = hora11 + ":" + minut1
    print("Hora del anochecer: ", anochece)

#si no imprimimos normal
else:
    anochece = hora11 + ":" + minut
    print("Hora del anochecer: ", anochece)

#El siguiente paso es definir el rango correcto para cada tipo,
calcular t: las horas de diferencia entre
#cuando ocurre el evento y cuando se transmite, y si estamos dentro
del rango calcular la atenuacion;
#si no estamos dentro, Lt = 30 dB o Lt = 0 dB
```

```

#vamos primero para el amanecer
aman = result_aman.split(':')
aman_hour = int(aman[0])

#el paso previo a realizar es calcular la hora la hora a la que se
transmite en el punto medio, ya que la hora introducida la coge con
referencia al transmisor
if utc_zone > utc_zone_PM:
    trxhour = trxhour - (utc_zone - utc_zone_PM)

elif utc_zone < utc_zone_PM:
    trxhour = trxhour + (utc_zone_PM - utc_zone)

else:
    trxhour = trxhour

#se calcula la diferencia con respecto a la hora de la transmision
aman_t = trxhour - aman_hour

#hacemos lo propio con el anochecer
anoc = anochece.split(':')
anoc_hour = int(anoc[0])

#se calcula la diferencia con respecto a la hora de la transmision
anoc_t = trxhour - anoc_hour

#Calculamos la atenuacion para el amanecer
if -3 < aman_t < 1:
    Lt_aman = 9.6 + 12.2*aman_t + 5.62*aman_t**2 + 0.86*aman_t**3
elif (aman_hour + 1) <= trxhour <= (anoc_hour - 1) and trxhour < 12:
    Lt_aman = 30
    bandera = 1 #Para que no sume la misma atenuacion dos veces
else:
    Lt_aman = 0

#Calculamos la atenuacion para el anochecer
if -1 < anoc_t < 4:
    Lt_anoc = 12.4 - 9.248*anoc_t + 2.892*anoc_t**2 -
0.3343*anoc_t**3
elif (aman_hour + 1) <= trxhour <= (anoc_hour - 1) and (bandera ==
0):
    Lt_anoc = 30
else:
    Lt_anoc = 0

#por ultimo se suman los valores ya que solo tendremos un
procedimiento en cuenta
#en cada ejecucion
Lt = Lt_anoc + Lt_aman

```

```
return Lt
```

## functions.py

```
import math
import sys
import time
from tkinter import *

#Funcion que determina la distancia entre las dos estaciones que se estan
manejando
#El numero 1 hace referencia a la estacion transmisora y el 2 a la receptora
def distance(lat1, long1, lat2, long2):

    #definimos el radio de la Tierra (km)
    Ra = 6378
    rad = math.pi/180

    #calculamos la diferencia entre coordenadas
    dlat = lat2-lat1
    dlong = long2-long1

    a = (math.sin(rad*dlat/2))*(math.sin(rad*dlat/2)) +
math.cos(rad*lat1)*math.cos(rad*lat2)*(math.sin(rad*dlong/2))*(math.sin(rad*d
long/2))
    #distancia entre las dos estaciones
    #distancia=2*R*math.asin(math.sqrt(a))*1000

    #calculamos la distancia del enlace
    distancia = 2*Ra*math.atan2(math.sqrt(a), math.sqrt(1-a))

    return distancia

#Funcion que calcula la distancia real del trayecto de propagacion
#Tomara como parametro de entrada la distancia medida sobre el suelo
def trayectoProp_P(distancia):

    #tendremos que diferenciar dos casos, si distancia es < o > que 1000
km
    if distancia <= 1000:
        p = (distancia**2 + 40000)**0.5
    else:
        p = distancia
```

```

    return p

#Funcion encargada de llamar a una parte de las funciones para obtener los
valores necesarios
def callSome (freq, latTX, longTX, latRX, longRX, banda, distancia, omni,
potRad, Gv, Gh, dulceTX, dulceRX, s1TX, s2TX, s1RX, s2RX, Gol):

    #con los parametros recibidos comenzamos a llamar a todas las
funciones definidas aqui

    Gs = gananProxMar_Gs(freq, distancia, banda, dulceTX, dulceRX, s1TX,
s2TX, s1RX, s2RX, Gol)
    print("Ganancia debida a la proximidad del mar, Gs (dB) : ", Gs)

    V = fuerzaCimo_V(omni, potRad, Gv, Gh)
    print("Valor de fuerza cimomotriz, V(dB(300 V)) : ",V)

    #devolvemos una tupla con los valores separados por si hay que hacer
uso de ellos
    S = [Gs, V]

    return S

#Funcion que determina la fuerza cimomotriz del transmisor
def fuerzaCimo_V(omni, potRad, Gv, Gh):

    #En primer lugar, se ha de especificar si la antena transmisora es
direccional u omnidireccional. Para el caso de una antena
    #vertical se considerará omnidireccional, pero se le debe de dar la
opcion al usuario de poder cambiar esa opcion

    if omni == "s":

        #debido a que es omnidireccional se anula la ganancia
horizontal
        Gh = 0

        #Considerando una fuerza cimomotriz de referencia de 300 V
implica una potencia radiada de 1 kW y una ganancia vertical de
        #0 dB. La potencia radiada se especificara en dBs por encima
de dicho valor, y en este caso, tambien se debera de incluir
        #valor para la ganancia vertical, puesto que ya no tomamos el
valor de referencia; considerando el valor de referencia,
        #estaremos suponiendo una potencia radiada de 1 kW y 0 dB de
ganancia vertical, por lo que V = 0, ya que la potencia
        #iria en decibelios por encima de dicho valor

```

```
        #Por ultimo debemos de indicar el valor de la ganancia
vertical, que sera en funcion de la altura de la antena transmisora
        #y lambda; si suponemos el valor de referencia, Gv = 0

        #El valor de la fuerza cimomotriz sera el siguiente
V = potRad + Gv

else:

        #Considerando una fuerza cimomotriz de referencia de 300 V
implica una potencia radiada de 1 kW y una ganancia vertical de
        #0 dB. La potencia radiada se especificara en dBs por encima
de dicho valor, y en este caso, tambien se debera de incluir
        #valor para la ganancia vertical, puesto que ya no tomamos el
valor de referencia; considerando el valor de referencia,
        #estaremos suponiendo una potencia radiada de 1 kW y 0 dB de
ganancia vertical, por lo que V = 0, ya que la potencia iria en
        #decibelios por encima de dicho valor

        #Por ultimo debemos de indicar el valor de la ganancia
vertical, que sera en funcion de la altura de la antena transmisora
        #y lambda; si suponemos el valor de referencia, Gv = 0

        #Al no ser la antena omnidireccional tambien se debe de
especificar un valor para dicha ganancia.

        #El valor de la fuerza cimomotriz sera el siguiente
V = potRad + Gv + Gh

return V

#Funcion que determina la ganancia debida a la proximidad del mar; se aplica
a cada terminal en caso de que se encuentran cerca del mar
#Recibira como parametro la frecuencia de trabajo, la distancia del trayecto
y la banda, la ganancia por proximidad del mar
#y las coordenadas tanto para TX como para RX de los puntos mas cercanos a
mar y a la siguiente seccion de tierra
def gananProxMar_Gs(freq, distancia, banda, dulceTX, dulceRX, s1TX, s2TX,
s1RX, s2RX, Go1):

        #La primera comprobacion a realizar seria si el agua que tiene cerca
el nodo es dulce o no, en caso de ser dulce no se aplica

        if dulceTX == "n":
                #Calculamos el valor de r1 tanto para TX como para RX, puesto
que nos marcara el limite
```

```

#para aplicar la norma

#Realizamos una serie de comprobaciones dependiendo de la
distancia entre estaciones y
#de la banda en la que estemos trabajando

#Comenzamos con el transmisor
if banda == "HM" and distancia > 6500:
    Go = 10

elif banda == "KM" and distancia > 5000:
    Go = 4.1

else:
    Go = Go1

#Dependiendo de la banda de trabajo
if banda == "KM":
    q1 = 0.3
    q2 = 0.25
else:
    q1 = 1.4
    q2 = 1.2

r1TX = (1e3*(Go**2))/(q1*freq*(1e-3))

#El siguiente paso es determinar el factor de correccion c1,
para lo cual necesitaremos la distancia desde la
#estacion al mar

#El valor limite para poder aplicar dicha norma
if s1TX < r1TX:
    c1TX = (s1TX*Go)/r1TX

#Calculamos el siguiente factor de correccion, c2

r2TX = (1e3*(Go**2))/(q2*freq*(1e-3))

#Para ello definimos antes alpha (a), que representa
la proporcion de tierra en la seccion de trayecto entre s2 y r2.
#Como no disponemos de un banco de datos relativos al
terreno optamos por tomar alpha como 0.5, ya que esta definida
#entre 0 y 1
a = 0.5

if s2TX >= r2TX:
    c2TX = 0
else:

```

```

c2TX = a*Go*(1-(s2TX/r2TX))

#Y por ultimo
c = c1TX + c2TX

if c >= Go:
    GsTX = 0
else:
    GsTX = Go - c1TX - c2TX

#Por superar el valor limite, r1TX
else:
    GsTX = 0
#Por ser el agua dulce
else:
    GsTX = 0

#Como antes, lo primero de todo es saber si el agua es dulce o no , y
posteriormente, calculamos r1RX

if dulceRX == "n":

    #Mismo comienzo para el receptor
    if banda == "HM" and distancia > 6500:
        Go = 10

    elif banda == "KM" and distancia > 5000:
        Go = 4.1

    else:
        Go = Go1

    #Dependiendo de la banda de trabajo
    if banda == "KM":
        q1 = 0.3
        q2 = 0.25
    else:
        q1 = 1.4
        q2 = 1.2

    r1RX = (1e3*(Go**2))/(q1*freq*(1e-3))

    #El siguiente paso es determinar el factor de correccion c1,
    para lo cual necesitaremos la distancia desde la
    #estacion al mar

    #El valor limite para poder aplicar dicha norma
    if s1RX < r1RX:

```

```

c1RX = (s1RX/r1RX)*Go
#Calculamos el siguiente factor de correccion, c2

r2RX = (1e3*(Go**2))/(q2*freq*(1e-3))
#Para ello definimos antes alpha (a), que representa
la proporcion de tierra en la seccion de trayecto entre s2 y r2.
#Como no disponemos de un banco de datos relativos al
terreno optamos por tomar alpha como 0.5, ya que esta definida
#entre 0 y 1
a = 0.5

if s2RX >= r2RX:
    c2RX = 0
else:
    c2RX = a*Go*(1-(s2RX/r2RX))
#Y por ultimo
c = c1RX + c2RX
if c >= Go:
    GsRX = 0
else:
    GsRX = Go - c1RX - c2RX
#Por superar el valor limite, r1RX
else:
    GsRX = 0
    c1RX = 0
#Por ser el agua dulce
else:
    GsRX = 0

#Y por ultimo
Gs = GsTX + GsRX

return Gs

```

