

Universidad de La Laguna

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Física

Memoria de Prácticas Externas.

12/05/2023

Tutores externos:

Jorge Socas Negrín

Joan Torras Estruch

Tutor académico:

Ismael Pérez Fournon

Alumno:

Rodrigo Kloster Albarracín

Índice

1. Introducción	3
2. Información general	3
2.1. Datos personales del alumno	3
2.2. Datos de la entidad colaboradora	3
3. Entidad colaboradora	4
4. Trabajo desarrollado	4
4.1. Objetivos	4
4.2. Marco teórico	4
4.2.1. FSOC, Link Budget & SKR	4
4.3. Metodología	6
4.3.1. Equipo y herramientas	6
4.3.2. Primera semana	6
4.3.3. Programa original de Caramuel	6
4.3.4. Diseño de la interfaz	8
4.3.5. Resultado de la interfaz	13
5. Resultados del Link Budget	16
6. Conocimientos y competencias adquiridos en relación con los estudios universitarios e identificación de aportaciones	17
7. Relación de los problemas planteados y el procedimiento para su resolución	18
8. Auto-evaluación de las prácticas y sugerencias de mejora	19

1. Introducción

Esta memoria recopila los trabajos y tareas realizados como estudiante de Prácticas Externas del Grado de Física en la empresa IACTEC. El objetivo de este escrito radica en resumir de una manera general y metodológica las distintas tareas y labores que ocuparon las horas asignadas a dichas prácticas.

2. Información general

El desarrollo de las prácticas tuvo lugar en el intervalo desde **21/03/2023** hasta el **12/05/2023**, en el edificio IACTEC en Las Mantecas. Los tutores externos asignados fueron Jorge Socas Negrín y Joan Torras Estruch, que nos acompañaron presencialmente durante el avance de las prácticas. El tutor académico fue Ismael Pérez Fournon, con el cual mantuvimos reuniones semanales con el objetivo de resolver dudas y estar al tanto de nuestros problemas.

2.1. Datos personales del alumno

Apellidos: Kloster Albarracín

Nombre: Rodrigo

DNI: 49408806E

Correo electrónico: alu0101157672@ull.edu.es

2.2. Datos de la entidad colaboradora

Dirección: Edificio IACTEC, Parque Tecnológico y Científico de las Mantecas, 38320 La Laguna, Santa Cruz de Tenerife.

Teléfono: 922605200

Email: info.iactec@iac.es

3. Entidad colaboradora

IACTEC es el espacio de cooperación tecnológica y empresarial del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Su objetivo es el de desarrollar en Canarias un ecosistema innovador para el intercambio de alta tecnología entre el sector público y las empresas, aprovechando el capital científico y tecnológico del IAC.

4. Trabajo desarrollado

4.1. Objetivos

El objetivo principal es lograr perfeccionar un software en Matlab que permita simular los diferentes balances de enlace en diversos escenarios y bajo condiciones de propagación adecuadas. Este software hará el balance de enlace para comunicación cuántica y clásica. Una vez tengamos el balance de enlace y seleccionando los diferentes detectores se calculará los posibles SKR que se pueden obtener en función del protocolo de distribución cuántica aplicado, en un principio solo se hará para BB84 y BBM92, con y sin estados señuelos. La interfaz será gráfica y hay que definir las variables a utilizar. Se partirá de varios softwares de Matlab ya existentes que se les irá dando forma.

4.2. Marco teórico

Antes de introducir la metodología y tareas realizadas, vamos a dar un poco de contexto físico al trabajo realizado en las prácticas.

4.2.1. FSOC, Link Budget & SKR

Las prácticas se realizaron con el Grupo de Comunicaciones Ópticas en Espacio libre, cuya labor se centra en el desarrollo e investigación del equipamiento necesario para establecer comunicaciones ópticas cuánticas en espacio libre, tanto en tierra como en el espacio, así como en el avance

de óptica adaptativa y distribución de claves cuánticas. En nuestro caso particular, las tareas realizadas giraron en torno a los métodos de Comunicaciones Ópticas en Espacio Libre (Free Space Optical Communications o FSOC), es decir, la propagación de luz en espacio libre (y por espacio libre nos referimos a medios como el aire, espacio exterior o incluso el vacío) como método de transmisión de información. Dicho método contrasta con los métodos de propagación de luz en medios sólidos, como la fibra óptica o guías de ondas en general. Más concretamente, nuestro interés se centró en analizar y obtener los posibles Link Budget entre un satélite GEO y una estación en Tierra.

Link Budget es un término empleado principalmente en el ámbito de las Telecomunicaciones, que da cuenta del balance de ganancias-pérdidas que existe en un enlace entre un emisor y un receptor. Dicho balance proporciona la potencia recibida desde el emisor tras tener en cuenta las pérdidas debidas a la propagación, las ganancias en las antenas y demás pérdidas que puedan producirse. Es decir, se obtiene la potencia perdida o atenuada en el enlace.

Asimismo, el análisis del Link Budget en nuestro contexto, tiene como propósito conocer las condiciones idóneas para establecer un enlace de comunicación de tipo cuántico. Esto se debe a que, entre otros aspectos a considerar, el equipo de comunicaciones ópticas IACTEC-FSO se encuentra vinculado al proyecto CARAMUEL. Dicho proyecto lo constituyen también otras entidades y centros de investigación tales como Hispasat, Telefónica, Alenia Space, etc., y cuyo objetivo se centra en el desarrollo de formas de Distribución de Claves Cuánticas (QKD), basado en el alojamiento de una carga útil transportada en un satélite geoestacionario. Para poder establecer un enlace de distribución de claves cuánticas, es necesario conocer el SKR (Secure Key Rate), que se mide en número de bits por pulso. Si dicho SKR es lo suficientemente alto, entonces es posible garantizar el uso de enlaces QKD como método seguro de intercambio de información.

4.3. Metodología

4.3.1. Equipo y herramientas

El transcurso de las prácticas ha girado en torno al manejo de Matlab. Matlab® es un entorno de programación diseñado para ingenieros y científicos con el objetivo de diseñar y analizar sistemas con cálculos complejos, visualizar datos, graficar conjuntos de datos, cálculos matriciales, y un largo etcétera. Asimismo, Matlab también tiene integrada distintas herramientas de diseño de interfaz gráfica de usuario (GUI y App Designer) y cuyo papel ha sido fundamental en estas prácticas.

4.3.2. Primera semana

La primera semana de prácticas se dedicó plenamente a la familiarización del lenguaje propio de Matlab y de su entorno gráfico. En la figura (1) se tiene una captura de la primera interfaz de usuario que se diseñó durante dicha semana.

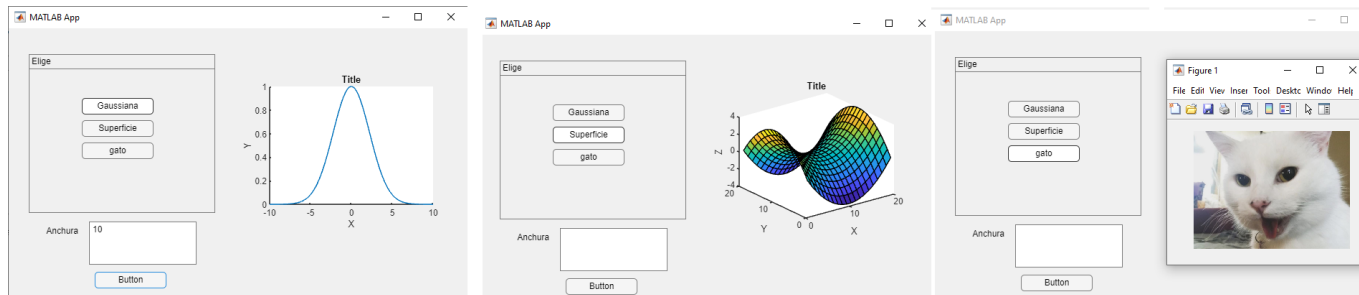


Figura 1: Captura de pantalla del programa realizado en la tarea 1. Si se pulsa el primer botón, aparece por pantalla una gráfica de una gaussiana con anchura editable, si se pulsa el segundo botón, aparece una superficie 3D, y si se pulsa el último botón, aparece la imagen de un gato.

4.3.3. Programa original de Caramuel

A continuación, durante las siguientes semanas hasta el final, fue dedicada a montar la interfaz gráfica del programa de Link Budget que nos fue asignado. El programa en cuestión fue desarrollado

por colaboradores del consorcio de Caramuel durante el marco de desarrollo de dicho proyecto y tiene como objetivo calcular las pérdidas en un enlace *downlink* (Geo-to-Ground) entre un satélite geostacionario y una hipotética estación en tierra, tanto en condiciones diurnas (Daylight) como nocturnas (Night-Time).

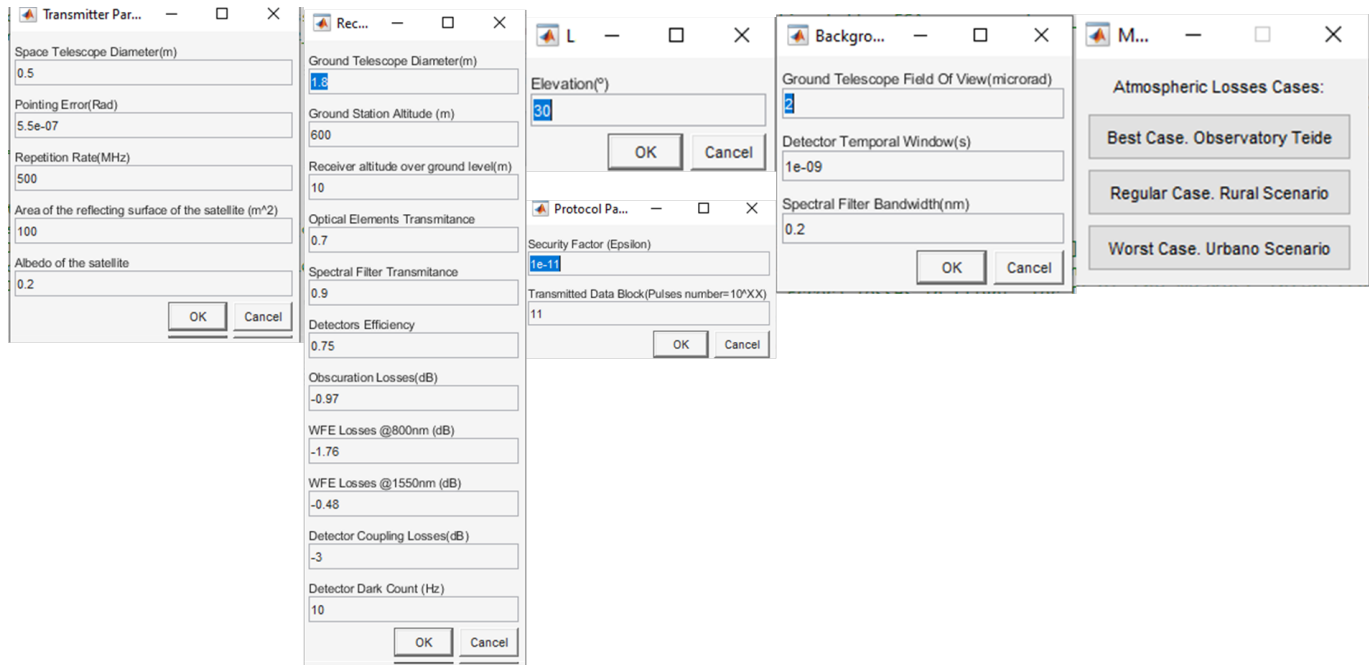


Figura 2: Captura de pantalla de las distintas ventanas emergentes con los parámetros que el usuario debe rellenar para realizar el cálculo del Link Budget en el programa de Caramuel.

Como se puede ver en la figura [2], el programa en sí no posee una interfaz como tal. Tan solo posee una serie de cuadros de texto con los parámetros del enlace a rellenar. Una vez rellenados, el programa realiza todos los cálculos, cuyos resultados se muestran en la ventana de comandos de Matlab. Un ejemplo de ello lo tenemos en la figura [3], en la cual se puede apreciar todos los cálculos de las pérdidas en el Link Budget, así como los cálculos del SKR. Una cuestión a destacar son las longitudes de onda empleadas en el análisis del Link Budget. El programa original tiene fijados los cálculos para longitudes de 810nm y 1550nm , sin embargo veremos que estos valores se pueden extender a los que el usuario desee una vez tengamos la interfaz montada.

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

===== CHANNEL =====
Atmospheric losses @810nm=-1.2408 [dB]
Atmospheric losses @1550nm=-0.16015 [dB]
Scintillation losses @810nm=-0.40948 [dB]
Scintillation losses @1550nm=-0.60172 [dB]
Elevation=30 [Å°]

===== PROTOCOL =====
Security Factor (Epsilon)=1e-11
Data block size (in the transmitter)= 1e11 [pulses]

-----CALCULATION FOR (810 nm)-----

DAYLIGHT CONDITIONS
Cn2 =5e-14 [m-2/3]
-----Diametros de haz -----
Beam Diameter (diffraction)=79.643 [m]
Effective Beam Diameter (diffraction+turbulence)=79.6432 [m]
Effective Beam Diameter (diffraction+turbulence+jitter/pointing)=127.8515 [m]

-----Perdidas -----
Losses(geometric+pointing)=-34.0192 [dB]
Losses(geometric+pointing+atmospheric+receiver)=-44.246 [dB]
Losses(geometric+pointing+atmospheric+receiver+scintillation)=-44.6555 [dB]

SKR(44.6555 dB)=4.5568e-07 [bits/pulse]   Key Rate=227.8387
Num Clicks (Signal)=17116.7804 [click/s]   Noise Clicks=3828.3303[click/s]   Signal/Noise Click Rate=4.4711
Transmission time=3.3333 minutes, received key=45567.7394   AES128 keys=355.998
Maximum tolerable attenuation (SKR=10bps)=48.3417dB
Link margin=3.6862dB
  
```

Figura 3: Captura de pantalla de los resultados obtenidos en el Link Budget (caso diurno, $\lambda = 810nm$).

4.3.4. Diseño de la interfaz

Cabe destacar que lo aprendido durante la primera semana de prácticas en el manejo de Matlab se reemite a este bloque de trabajo, pues como ya mencionamos más arriba, el diseño de la interfaz fue posible gracias a la herramienta integrada App Designer, que ya habíamos usado al principio. Así, su uso se puede dividir en dos componentes:

- La primera es el diseño visual de la interfaz, es decir, lo que el usuario podrá visualizar una vez se ejecute el programa. Esta parte es la más sencilla, pues no se requiere muchos conocimientos para poder usarla. Esto es, siguiendo las flechas naranjas de la figura [4], su uso se reduce

al arrastre de los iconos que deseamos añadir en nuestra interfaz desde la columna de iconos situada en la parte izquierda de la pantalla, hacia el marco de trabajo (cuadro gris) situado en el centro. En nuestro caso, como ya vimos en la figura [2] del apartado anterior, tenemos un gran número de parámetros de entrada, así como un número grande de resultados que deben salir por pantalla (figura [3]). Esto complica el diseño de la interfaz, pues sería imposible visualizar todos los parámetros en una sola ventana. Es por eso que para subsanar esta problemática, se añadieron dos ventanas extra en las cuales aparecerán los resultados de manera separada. Una de las ventanas corresponderá a los resultados asociados al caso diurno, mientras que la segunda ventana corresponderá al caso nocturno. Asimismo, la primera ventana que aparecerá al usuario tan solo contendrá los campos numéricos con los valores de entrada que el usuario debe rellenar. El resultado de dicho diseño se verá en el apartado siguiente.

- La segunda componente del diseño consiste en vincular el código del programa original con todos los elementos interactivos que hemos añadido en la interfaz (botones, cuadros de texto, etc.). Esta parte es más laboriosa y requiere un poco más de detalle. Para ello, Matlab posee una pestaña de acceso que conecta la Vista de Diseño, con la Vista de Código (obsérvese la flecha roja en la parte superior derecha de la figura [4]). Por otro lado, cabe destacar que este programa tiene como base respetar las líneas de código de los cálculos originales permitiendo calcular y obtener los mismos resultados, esto es, las líneas de código han sido manipuladas y adaptadas al formato propio de la interfaz, sin embargo los cálculos siguen intactos.

A continuación no vamos a mostrar la secuencia de códigos del programa en su totalidad, pues sería un desarrollo demasiado extenso que se saldría de los propósitos de esta memoria. Sin embargo, analizaremos las líneas de código encargadas de realizar el cálculo de uno de los parámetros más relevantes, esta es, el de **pérdidas atmosféricas** L_{atm} . Si bien este conjunto de líneas representa tan solo una pequeña parte del programa, será más que suficiente para tener

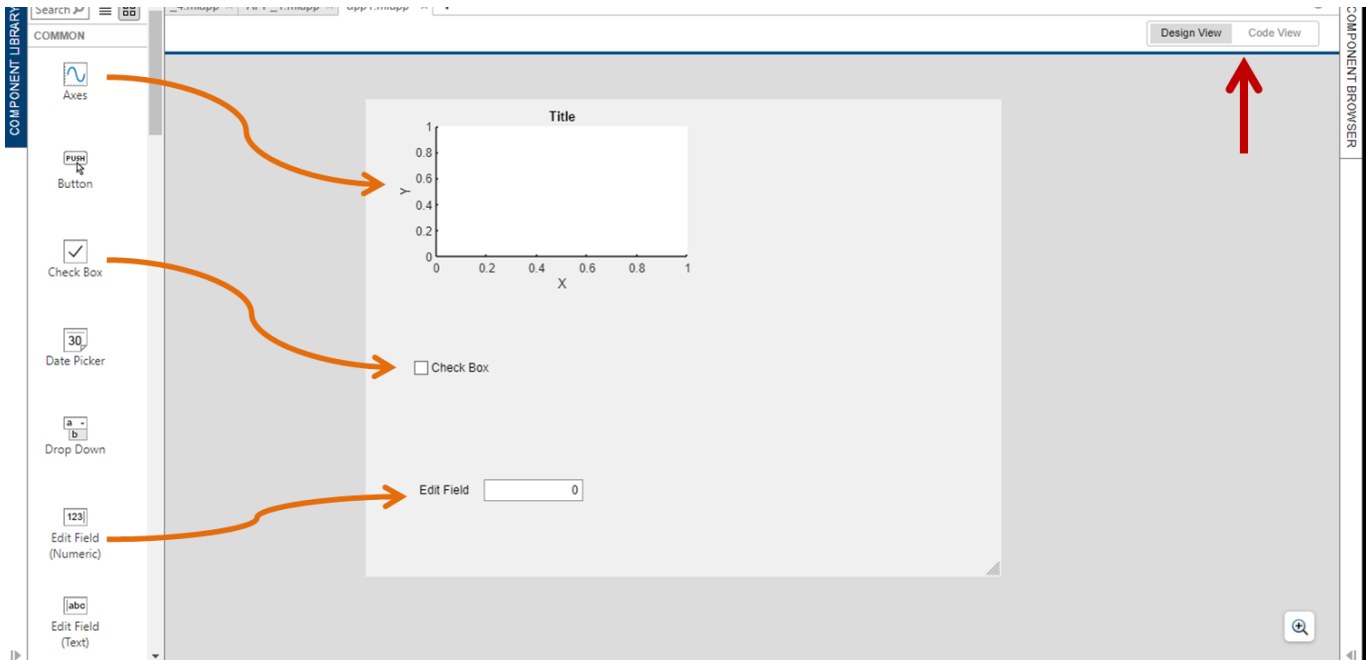


Figura 4: Captura de pantalla de la herramienta App Designer.

una idea de cómo funciona. Para ello, en la figura [5] tenemos parte del código que controla la caja de botones de la interfaz primaria, con los tres siguientes casos atmosféricos posibles:

- Caso más favorable (Receptor ubicado en Observatorio del Teide)
- Caso intermedio (Receptor ubicado en un entorno de tipo rural)
- Peor caso (Receptor ubicado en la ciudad o entorno urbano)

De esta forma, cada botón tiene asociado un bloque de líneas de código dentro de un bucle *if* (véanse las flechas naranjas en la imagen). Una vez se ejecute el programa, se llegará al primer bloque, el cual da comienzo con la siguiente condición:

```
if app.BestCaseObservatoryofTeideButton_2.Value == 1
```

En el caso de Matlab, todo elemento interactivo creado en App Designer (botón, campo numéri-

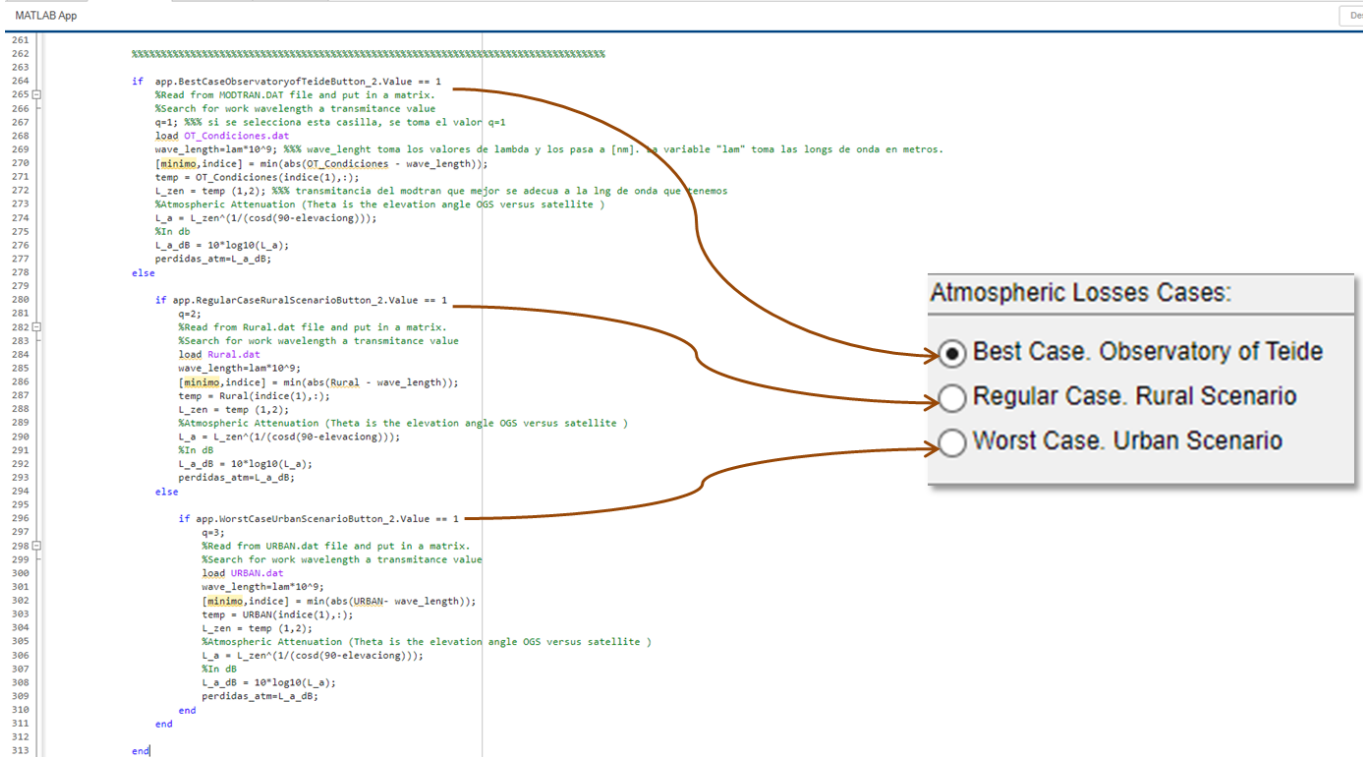


Figura 5: Captura de pantalla de la parte del código asociada al cálculo de la atenuación atmosférica.

co, casillas de enmarcación, etc.) tiene asociada una variable dentro del código con la cual podemos manipular dicho elemento, así como una etiqueta con el nombre que queramos. Estas variables se definen siempre como:

`app.Etiqueta.Value`

En este caso, los botones de la caja solo pueden tomar dos valores booleanos (0 o 1) en función de si su respectiva casilla se encuentra marcada o no. Como es fácil de intuir, la línea anterior se cumple si y solo si el usuario selecciona o marca la primera casilla (Observatorio del Teide). En la figura [5], podemos ver que en efecto tenemos seleccionada dicha casilla, por lo tanto el programa recorrerá todas las líneas subordinadas. En dichas líneas se realiza una estimación precisa de la transmitancia en función de la longitud de onda que hayamos introducido. Esta estimación se

realiza empleando los paquetes propios del software MODTRAN®. Dichos paquetes contienen una lista tabulada de transmitancias frente a longitud de onda. Luego en el caso del primer bloque , se sigue:

```
q=1;
load OT_Condiciones.dat
wave_length=lam*10^9;
[ minimo, indice] = min(abs(OT_Condiciones - wave_length));
temp = OT_Condiciones(indice(1),:);
L_zen = temp (1,2);
%Atmospheric Attenuation
L_a = L_zen^(1/(cosd(90-elevaciong)));
%In db
L_a_dB = 10*log10(L_a);
perdidas_atm=L_a_dB;
```

Es decir, en la primera línea definimos un nuevo índice $q = 1$ que se fija cuando seleccionamos el primer botón. En caso de seleccionar los otros botones, se definen $q = 2$ ó $q = 3$ respectivamente. Dicho índice q será necesario en futuras líneas de código, pues ciertos parámetros, como por ejemplo la constante de estructura C_n^2 , se escogen en función del caso q que hayamos seleccionado. En la siguiente expresión se puede visualizar a qué nos referimos:

```
Cn2(k)=Cn2_0_casos(k,q) % q=1 (botón 1); q=2 (botón 2) ; q=3 (botón 3)
```

Seguido de esto, se carga el paquete de MODTRAN, que en este caso es OT_Condiciones.dat. Luego, en la cuarta línea se obtiene el valor de long. de onda λ de la tabla de MODTRAN que más se aproxime a la longitud de onda que pusimos en la entrada, es decir, el valor cuya

diferencia sea mínima. Asimismo, se guarda el índice de la fila correspondiente a dicho valor mínimo de λ (como *índice*) y en las dos siguientes líneas se selecciona el valor de la transmitancia a partir de dicho índice. Dicha transmitancia corresponde con la transmitancia vertical del enlace L_{zen} . Por consiguiente, las pérdidas atmosféricas se podrán obtener gracias a la siguiente expresión:

$$L_a = L_{zen}^{\left(\frac{1}{\cos(\zeta)}\right)},$$

donde ζ corresponde con la elevación del satélite respecto al horizonte del receptor. Finalmente introducimos las pérdidas dentro del logaritmo, y ya tenemos las pérdidas atmosféricas del enlace *downlink*.

4.3.5. Resultado de la interfaz

A continuación presentaremos la interfaz diseñada y terminada. Asimismo se añadieron ciertos parámetros de entrada que en este programa son variables, pero que en el programa original se tomaban como fijos (como por ejemplo la velocidad del viento *Wind Velocity*; o las longitudes de onda λ que antes eran fijas), así como la inclusión de parámetros nuevos que el programa original no contemplaba.

En la figura [6], se muestra la interfaz del programa una vez se ejecuta. En el panel azul izquierdo, se tienen todos los parámetros asociados al transmisor (satélite GEO). En el panel rojo derecho, se encuentran todos los parámetros del receptor. Y en el centro se tienen el resto de parámetros generales, como los vinculados a las condiciones atmosféricas, la longitud de onda empleada, parámetros propios del protocolo, etc. Una vez se rellenan todos los parámetros de entrada, el usuario debe clicar en el botón de la parte inferior con la palabra **CALCULATE**. De esta manera, el programa realiza todos los cálculos pertinentes con los valores ya introducidos. Por consiguiente, por pantalla aparecerán 3 nuevas ventanas:

1. La primera ventana (véase la figura [6]), devuelve dos gráficas. Dichas gráficas representan al

Transmitter Parameters	LINK BUDGET	Receiver Parameters
Space Telescope Diameter: 0.5 [m] Pointing Error: 5.5e-07 [rad] Repetition rate: 500 [Hz] Area of the reflecting surface of the satellite: 100 [m²] Albedo of the satellite: 0.2 Altitude Tx: 3.578e+07 [m] Latitude Tx (N): 0.6 [°] Longitude Tx (W): 3.6 [°]	Wavelength 810 [nm] LINK Distance 0 [km] Elevation Transmitter-Receiver 30 [°] Atmospheric Losses Cases: <input checked="" type="radio"/> Best Case. Observatory of Teide <input type="radio"/> Regular Case. Rural Scenario <input type="radio"/> Worst Case. Urban Scenario Protocol Parameters Security Factor (Epsilon): 1e-11 Transmitted Data Block (Pulses number=10^XX): 11 Background Noises Ground Telescope Field of View (FOV): 2 [microrad] Detector Temporal Window: 1e-09 [s] Spectral Filter Bandwidth: 0.2 [nm] <div>CALCULATE</div>	Ground Telescope Diameter: 1.8 [m] Ground Station Altitude: 600 [m] Receiver altitude over ground level: 10 [m] Optical Elements Transmittance: 0.7 Spectral Filter Transmittance: 0.9 Detectors Efficiency: 0.75 Obscuration Losses: -0.97 [dB] WFE Losses: -1.76 [dB] Detector Coupling Losses: -3 [dB] Detector Dark Count: 10 [Hz] Wind velocity: 10 [m/s] Altitude Rx: 0 [m] Latitude Rx (N): 28 [°] Longitude Rx (W): 16 [°]
		CHANNEL PARAMETERS Atmospheric Losses: 0 [dB] Scintillation Losses: 0 [dB] Key volume per day: 0 [Mbit] Key volume per year: 0 [Gbit]



Free Space Optical Communications Department

Figura 6: Interfaz del programa, con todos los cuadros numéricos que el usuario debe rellenar para realizar el Link Budget.

SKR del enlace (eje vertical), frente a las pérdidas totales (eje horizontal). La gráfica de la izquierda corresponde al caso de diurno, y el de la derecha al nocturno.

2. En la segunda ventana (ventana izquierda de la figura 7), tenemos dos paneles:

- En el panel izquierdo aparecen todos los valores de pérdidas calculados por el programa, así

como la constante de estructura atmosférica C_n^2 y diámetros efectivos del haz propagado.

- En el panel derecho aparecen todos los parámetros asociados al cálculo del SKR para el caso diurno.

3. La tercera ventana es análoga a la anterior, solo que realiza los cálculos para el caso nocturno (ventana derecha de la figura [7]). Como vemos, ambas ventanas son idénticas, lo cual permite comparar los resultados con cierta facilidad.

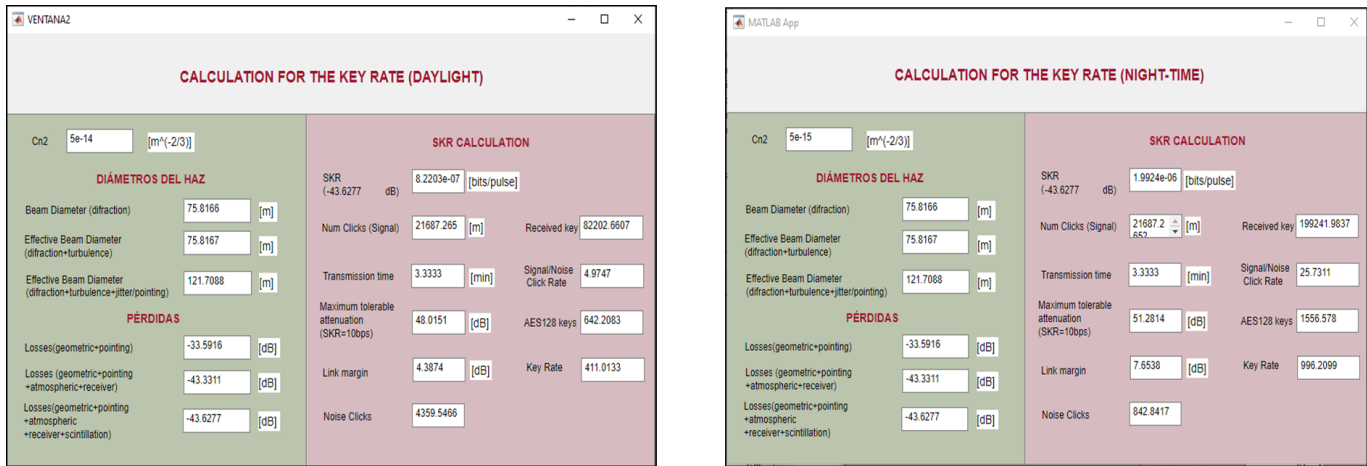


Figura 7: Resultados obtenidos empleando la nueva interfaz. La ventana izquierda corresponde con los resultados del caso diurno y la ventana derecha con el caso nocturno. Como se puede ver, los resultados del caso diurno coinciden totalmente con los valores obtenidos en la Figura 2.

- Una cuarta ventana (véase fi. [8]) con dos gráficas. Dichas gráficas representan el SKR frente a las pérdidas totales del enlace. Dichas gráficas fueron dispuestas como Subplots, a modo de una mejor comparación de los resultados.

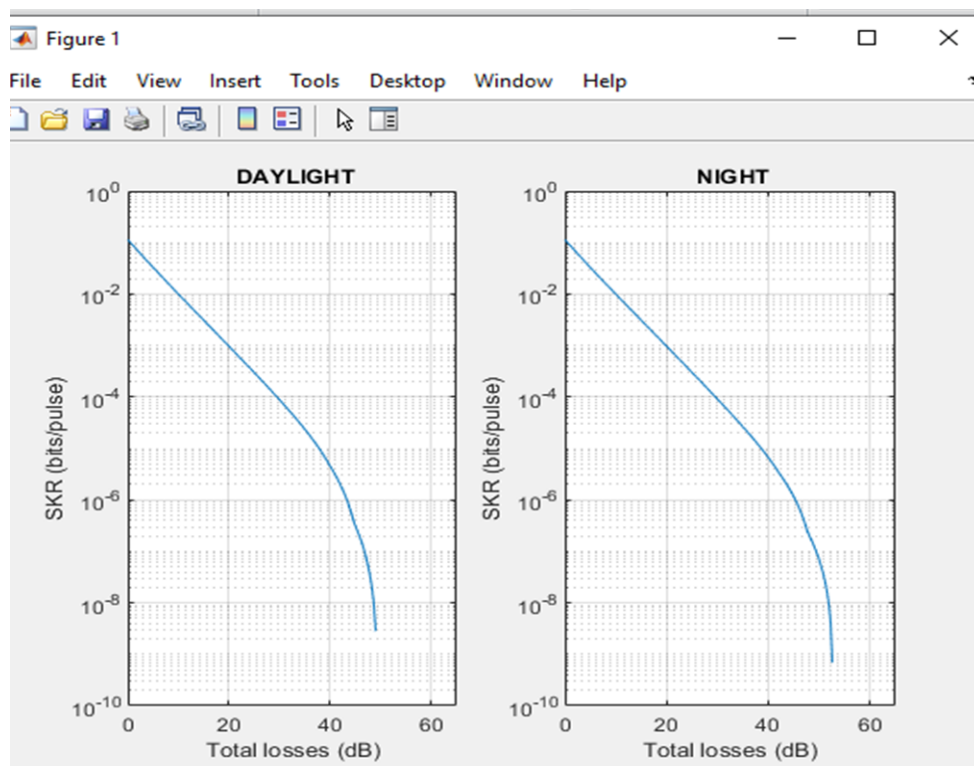


Figura 8: Captura de pantalla de la cuarta ventana, con sus dos correspondientes Subplots.

5. Resultados del Link Budget

Como podemos observar, comparando los resultados obtenidos del Link Budget del programa original (caso diurno, $\lambda = 810nm$) en la figura [3] con los resultados obtenidos en el programa nuevo en la figura [7], encontramos que los resultados son totalmente iguales. Por lo tanto, el programa funciona sin problemas y cumple con los objetivos planteados en un principio.

6. Conocimientos y competencias adquiridos en relación con los estudios universitarios e identificación de aportaciones

Como se pudo observar, el uso de Matlab ha sido básico en toda esta etapa. En mi plano personal como alumno en prácticas, creo que el trabajo por parte de los tutores externos en tanto que podamos aprender y a la vez progresar en cada una de las tareas ha sido óptima. Esto es que por una parte, creo haber podido adquirir un conjunto completo de herramientas prácticas especialmente ligadas a la programación y al uso de Matlab, programa que en un principio era una incógnita para mí, pero que actualmente no tengo duda de que lo seguiré empleando para futuros trabajos, proyectos o ideas. Asimismo, me gustaría aludir a los conocimientos adquiridos de otros programas que se imparten en el grado en Física, como es el caso de Python. Está claro que la soltura con la que me pude desenvolver con Matlab va de la mano con el extendido manejo de Python durante los primeros años de carrera (aunque en mi caso llevaba prácticamente años sin tocar Python, es por ello que usar Matlab me ha servido también como un modo de reaprendizaje a la programación).

Por otro lado, debo sumar todos los conocimientos teóricos nuevos adquiridos, todos ellos en relación con la comunicación y encriptación de tipo Cuántica, las Telecomunicaciones, Óptica e incluso Física de la Atmósfera. Afortunadamente, antes de ponernos a trabajar en el programa, los tutores se preocuparon de darnos material de lectura necesario para poder entender todo el contexto físico con el que íbamos a estar trabajando. La información a uno de los papers con casi toda la información teórica básica la dejo en la Referencia.

Por lo tanto, puedo afirmar sin duda que he salido de las prácticas con un conocimiento bien aprendido, que me ayudará de cara a afrontar mi TFG con mayor confianza, así como un sólido

conocimiento en torno a la programación.

7. Relación de los problemas planteados y el procedimiento para su resolución

A medida que las prácticas avanzaron, fue habitual tropezarse con ciertos problemas o inconvenientes, cada uno de los cuales pudo ser subsanado con éxito.

El primero de ellos consistió simplemente en la toma de contacto con Matlab. La primera tarea que nos fue encomendada no era en absoluto difícil. Sin embargo, los años desconectado de la programación tuvieron como consecuencia que no recordara cómo funcionaba un simple bucle iterativo, o cuestiones de naturaleza similar. Sin embargo, el propio autodidactismo que los tutores nos animaron a adoptar en esta clase de problemas, al contrario de preguntar dudas o darnos por perdidos, fue lo que simplemente me ayudó a sobrepasar este salto de nivel. Mirar tutoriales de la propia página web de Matlab, tutoriales de internet o leer problemas similares en páginas como *Stackoverflow.com* fueron la llave para superar esta problemática.

Otra dificultad que encontré en estas prácticas consistió en entender el marco teórico bajo el cual nos estábamos encaminando. Óptica Adaptativa, Encriptación Cuántica, protocolo BB84, Link Budget, y un largo etcétera, son una serie de términos que un estudiante del grado en física para nada deba conocer, y que sin embargo, son necesarios de su entendimiento para no avanzar a ciegas sin saber con lo que uno está tratando. Por supuesto, podría haberme quedado con lo más básico y trabajar en el programa sin una base sólida, sin embargo no le vi sentido a realizar unas prácticas así y opté por profundizar en cada concepto en la medida de lo posible. Esto pudo ser posible gracias a la bibliografía que mis tutores me proporcionaron, que fue más que suficiente para ponerme al día.

Por último, quiero añadir una problemática que no tiene que ver con la teoría en sí, sino con la organización de la empresa. Esto es que, en un principio estaríamos trabajando con portátiles prestados de la empresa. Sin embargo, dichos portátiles no tenían licencia de descarga de Matlab 2023. Por lo tanto nos fue imposible usarlos, y tuvimos que emplear nuestros propios portátiles para descargar la

licencia.

8. Auto-evaluación de las prácticas y sugerencias de mejora

En cuanto a mi desempeño en las prácticas, considero que he tenido una iniciativa más que necesaria para poder realizar las tareas encargadas. Leí los papers que me recomendaron y busqué bastante información para entender el papel que tienen la mayoría de parámetros y el por qué los tenemos en cuenta. Sin embargo, como autocrítica y lección de mejora, considero que dichas horas de búsqueda de información podrían haberse ahorrado si simplemente hubiera preguntado más a menudo a mis tutores. Igualmente, creo que mi aportación ha sido positiva tan para la empresa, como a nivel personal y profesional.

Por otro lado, considero que las prácticas han estado muy bien. El resumen de la práctica en la lista de emeprea ofertadas se amoldó totalmente a los objetivos que finalmente realicé. Recomendando este puesto a cualquier alumno que quiera profundizar en las novedosas aplicaciones que están tomando auge en el entorno de las comunicaciones ópticas y cuánticas, y que quiera seguir aprendiendo y formándose un poco más.

Referencias

- [1] (2004). Kolmogorov theory of turbulence. <https://spie.org/samples/FG02.pdf>.
- [2] (2023). <https://matlab.mathworks.com/https://matlab.mathworks.com/>.
- [3] Ntanos, A. (2021). LEO Satellites Constellation-to-Ground QKD Links: Greek Quantum Com-

munication Infrastructure Paradigm. <https://www.mdpi.com/2304-6732/8/12/544>. Fecha de consulta: 12/05/2023.