

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:**  
**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL ESTÁNDAR DVB-S2 DE TELEVISIÓN**  
**SATÉLITAL USANDO VARIAS MODULACIONES PARA LOS**  
**LABORATORIOS DE TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR:**  
**LUIS MIGUEL GUERRA HIDALGO**

**DIRECTOR:**  
**LUIS GERMÁN OÑATE CADENA**

**Quito, Febrero 2017**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Luis Miguel Guerra Hidalgo con cédula de identidad N° 171312157-0 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación titulado: “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL ESTÁNDAR DVB-S2 DE TELEVISIÓN SATÉLITAL USANDO VARIAS MODULACIONES PARA LOS LABORATORIOS DE TELECOMUNICACIONES”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: Luis Miguel Guerra Hidalgo

Cédula: 171312157-0

Fecha: Febrero 2017

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL ESTÁNDART DVB-S2 DE TELEVISIÓN SATÉLITAL USANDO VARIAS MODULACIONES PARA LOS LABORATORIOS DE TELECOMUNICACIONES”, realizado por el Sr. Luis Miguel Guerra Hidalgo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, Febrero 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Luis Oñate", written over a horizontal line.

Ing. Luis Germán Oñate Cadena

C.I: 1712157401

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCION .....	1
CAPITULO I.....	3
ANTECEDENTES.....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2. TEMA.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo General .....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. ALCANCE .....	5
CAPITULO II .....	6
MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1. Estándar DVB-S2 .....	6
2.2. Arquitectura del estándar DVB-S2.....	7
2.3. Tipos de modulación compatibles con el estándar DVB-S2.....	9
2.3.1. APSK (Amplitude phase-shift keying) .....	9
CAPITULO III.....	11
ANÁLISIS Y SIMULACIÓN.....	11
3.1. Introducción.....	11
3.2. Simulación de la arquitectura del estándar DVB-S2.....	11
3.3. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para BPSK en Simulink.....	12
3.4. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 4-QAM en Simulink.....	13
3.4.1. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 8-QAM en Simulink...15	

3.4.2. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 16-QAM en Simulink.....	16
3.5. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para QPSK en Simulink.....	17
3.6. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 8-PSK en Simulink.....	18
3.7. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 16-PSK en Simulink.....	20
3.8. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 16-APSK en Simulink.....	21
3.9. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 32-APSK en Simulink.....	22
CAPITULO IV.....	24
PRUEBAS Y RESULTADOS.....	24
4.1. Introducción.....	24
4.2. Pruebas de la Simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación BPSK. ....	24
4.3. Pruebas de la Simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación 4-QAM, 8-QAM Y 16-QAM.....	25
4.4. Pruebas de la Simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación QPSK.....	26
4.5. Pruebas de la Simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación 8-PSK Y 16-PSK.....	27
4.6. Pruebas de la Simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación 16-APSK Y 32-APSK.....	28
4.7. Resultado de la comparación de las modulaciones en la arquitectura DVB-S2 para un mismo valor de SNR.....	29
4.8. Resultados de las Simulaciones de la arquitectura DVB-S2 para las modulaciones QPSK, 8-PSK, 16-APSK y 32-APSK.....	30
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES.....	34
REFERENCIAS.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DVB-S2.....	7
FIGURA 2.2. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN DE 32-APSK .....	10
FIGURA 3.1. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2.....	12
FIGURA 3.2. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2 PARA BPSK .....	12
FIGURA 3.3. BER VS SNR MODULACIÓN BPSK .....	13
FIGURA 3.4. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2 PARA 4-QAM.....	14
FIGURA 3.5. BER VS SNR PARA 4-QAM .....	14
FIGURA 3.6. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2 PARA 8-QAM.....	15
FIGURA 3.7. BER VS SNR PARA 8-QAM .....	15
FIGURA 3.8. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2 PARA 16-QAM.....	16
FIGURA 3.9. BER VS SNR PARA 16-QAM .....	16
FIGURA 3.10. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2 PARA QPSK .....	17
FIGURA 3.11. BER VS SNR PARA QPSK .....	17
FIGURA 3.12. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2 PARA 8-PSK.....	18
FIGURA 3.13. BER VS SNR PARA 8-PSK .....	19
FIGURA 3.14. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2 PARA 16-PSK.....	20
FIGURA 3.15. BER VS SNR PARA 16-PSK .....	20
FIGURA 3.16. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2 PARA 16-APSK...	21
FIGURA 3.17. BER VS SNR PARA 16-APSK .....	21
FIGURA 3.18. ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR DVB-S2 PARA 32-APSK...	22
FIGURA 3.19. BER VS SNR PARA 32-APSK .....	22
FIGURA 4.1. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN, ESCENARIO DEL SISTEMA DVB-S2 POR SATÉLITE PARA BPSK .....	24
FIGURA 4.2. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN, ESCENARIO DEL SISTEMA DVB-S2 POR SATÉLITE PARA 4- QAM.....	25
FIGURA 4.3. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN, ESCENARIO DEL SISTEMA DVB-S2 POR SATÉLITE PARA 8-QAM.....	25
FIGURA 4.4. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN, ESCENARIO DEL SISTEMA DVB-S2 POR SATÉLITE PARA 16-QAM.....	26
FIGURA 4.5. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN, ESCENARIO DEL SISTEMA DVB-S2 POR SATÉLITE PARA QPSK .....	26

FIGURA 4.6. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN, ESCENARIO DEL SISTEMA DVB-S2 POR SATÉLITE PARA 8-PSK.....	27
FIGURA 4.7. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN, ESCENARIO DEL SISTEMA DVB-S2 POR SATÉLITE PARA 16-PSK.....	27
FIGURA 4.8. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN, ESCENARIO DEL SISTEMA DVB-S2 POR SATÉLITE PARA 16-APSK.....	28
FIGURA 4.9. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN, ESCENARIO DEL SISTEMA DVB-S2 POR SATÉLITE PARA 32-APSK.....	28
FIGURA 4.10. DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN I / Q EN CANAL AWGN CON IGUAL SNR, PARA VARIOS TIPOS DE MODULACIONES EN EL SISTEMA DVB-S2 DE TELEVISIÓN SATELITAL: QPSK, 8-PSK, 16APSK Y 32-APSK.....	29
FIGURA 4.11. BER VS ES/NO PARA DIFERENTES MODULACIONES .....	30

## ÍNDICE DE TABLA

TABLA 4.1. DATOS OBTENIDOS DE LAS MODULACIONES EN LA ARQUITECTURA DVB-S2 .....	30
---	----

## RESUMEN

Este proyecto técnico está basado en el análisis e implementación de varias modulaciones para el estándar DVB-S2, por lo cual se investigará en un inicio conceptos generales para determinar el funcionamiento del estándar DVB-S2 de televisión digital satelital y los tipos de modulaciones compatibles con el estándar. Mediante el Software Matlab se implementó la programación del modulador y demodulador APSK y además se usó el entorno de simulación grafica Simulink para realizar pruebas de funcionamiento de manera gráfica. Este programa permite configurar parámetros y variables utilizadas en la simulación del estándar DVB-S2. Al finalizar la programación y desarrollo de la simulación de modulación y demodulación APSK en el software, se implementó en el bloque de funciones en el entorno Simulink de forma gráfica sobre la cual se realizaran las modulaciones BPSK, QAM, QPSK, PSK y APSK para determinar cuál es la modulación más óptima para el estándar DVB-S2, para el análisis y simulación del estándar DVB-S2 de televisión digital satelital para el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur. Donde los resultados muestran que la mejor modulación para el estándar DVB-S2 de televisión satelital es la de 32-APSK gracias a que nos ofrece un menor S/N (Relación Señal a Ruido) la cual es del 0.33% en comparación a las demás modulaciones y además maneja una tasa de bit errado de  $9.68 \times 10^{-5}$ .

## **ABSTRACT**

The present project is based on the analysis and implementation of several modulations for the DVB-S2 standard, for which a general concept will be investigated to determine the operation of the DVB-S2 digital satellite television standard and compatible types of modulations with that standard. Using the Matlab Software, the programming of the APSK modulator and demodulator was implemented and the Simulink graphical simulation environment was used to perform graphical operation tests. This program allows to configure parameters and variables used in the simulation of the DVB-S2 standard. At the end of the programming and development of the APSK modulation and demodulation simulation in the software, the BPSK, QAM, QPSK, PSK and APSK modulations were implemented in the function block in the Simulink environment to determine Which is the most optimal modulation for the DVB-S2 standard, for the analysis and simulation of the DVB-S2 digital satellite television standard for the Telecommunication Laboratory of the Salesian Polytechnic University Campus Sur. Where the results show that the best modulation for the DVB-S2 standard of satellite television is the 32-APSK because it offers us a lower S / N (Signal to Noise Ratio) which is 0.33% compared to the others Modulations and also handles a wrong bit rate of  $9.68 \times 10^{-5}$ .

## INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda por parte de los abonados sobre los servicios que reciben a través de televisión satelital, hace que las empresas prestadoras de servicios de televisión digital satelital busquen nuevas formas para la transmisión de información con la mayor calidad posible. Es por ello que se usa la norma DVB-S2, segunda generación de video digital de radiodifusión para la codificación de canales el cual se basa en la codificación de errores mediante LDPC (Low Density Parity Check) y BCH. Estos códigos LDPC pueden lograr tasas de error extremadamente bajas y BCH se utiliza para corregir errores esporádicos cometidos por el decodificador LDPC. El estándar DVB-S2 proporciona una operación Quasi-Error-Free (Tasa de bits errados menor al  $10^{-7}$ ) aproximadamente entre 0.7dB a 1 dB con la cual se ofrece una mejor calidad de servicio, por esta razón se abordara desde un inicio el desarrollo de una simulación de la arquitectura DVB-S2 con el software Matlab en el entorno Simulink, se realizó un análisis comparativo entre varias modulaciones digitales aplicadas a la simulación del estándar DVB-S2.

Sobre la arquitectura del estándar DVB-S2 se llevará un análisis y simulación del estándar DVB-S2 de televisión digital satelital para determinar en qué medida mejora los parámetros del BER (Tasa de Bit Errado) y S/N (relación señal a ruido) con la modulación APSK con respecto a otras modulaciones, por lo cual se presenta el desarrollo de este proyecto a continuación.

En el Capítulo I hace una reseña sobre el problema a resolver, los antecedentes, los objetivos de la investigación, la justificación así como los alcances del proyecto técnico de titulación.

En el Capítulo II se detalla el marco conceptual correspondiente al estándar DVB-S2 de televisión digital satelital y sus características de funcionamiento, además la arquitectura del estándar DVB-S2 y los tipos de modulación compatibles el estándar DVB-S2.

En el Capítulo III Se describe la implementación de la simulación de la arquitectura del estándar DVB-S2 con varios tipos de modulaciones aplicadas.

En el Capítulo IV Se explica las pruebas que se efectuaron en el simulador de entorno Simulink con respecto a la arquitectura DVB-S2 de televisión satelital, para determinar en qué medida mejora los parámetros del BER (Tasa de Bit Errado) y S/N (Relación de señal a ruido) con la modulación APSK con respecto a otras modulaciones.

En el último Capítulo V se presenta las conclusiones y recomendaciones de este proyecto técnico de titulación, así como la lista de referencias bibliográficas junto con el anexo correspondiente al modulador y demodulador de 16APSK/32APSK.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La transmisión digital vía satélite ha evolucionado notablemente debido a la introducción de nuevos esquemas de modulación y de protección de errores más eficaces. Además, la tendencia a nivel mundial es tener un modelo estándar para televisión satelital.

Esto obligó a buscar una mayor eficiencia para el estándar DVB-S2, usando modulación M-PSK y M-QAM, y otras técnicas de transmisión por satélite, para mejorar la generación anterior. Esta tecnología, en combinación con los esquemas de compresión avanzados, permite un mejor rendimiento en comparación al estándar DVB-S.

Se realizará una simulación que pretende determinar cuál de las siguientes modulaciones: BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, 4APSK, 8APSK y 16APSK proporcionan la menor tasa de bit errado y la relación señal a ruido que permite el mejor rendimiento del sistema DVB-S2.

### **1.2. Tema**

Análisis y simulación del estándar DVB-S2 de televisión satelital usando varias modulaciones para los laboratorios de telecomunicaciones.

### **1.3. Justificación**

Los servicios de radiodifusión son usados para distribución primaria y secundaria en las bandas de servicio por satélite Fijo (FSS: Fixed Satellite Service) y además los servicios de radiodifusión (BS: Broadcast Service) son transportados en el formato de flujo de transporte MPEG, para brindar un nivel diferenciado de protección contra errores a diferentes servicios (televisión analógica y digital, audio, multimedia). DVB-S2 también provee servicios interactivos a consumidores tales como un receptor decodificador integrado (IRD: Integrated Receiver Decoder). En cuanto a computadoras personales, el trayecto de envío de DVB-S2 reemplaza al actual estándar DVB-S, ya que por tratarse de servicios interactivos, existe un canal de retorno. El trayecto de retorno usa varios sistemas interactivos DVB-S. DVB-S2 provee modulación y codificación constante, o modulación y codificación adaptiva, donde cada estación receptora satelital individual controla el modo de protección del tráfico direccionado a estas. Las aplicaciones de televisión digital por satélite consisten en transmisiones punto a punto o punto – multipunto, conectando estaciones uplink (fijas o transportables) y estaciones receptoras, por tanto no están hechas para que receptores convencionales puedan recibir la señal.

Al disponer de una simulación para comprender el funcionamiento del estándar DVB-S2 para la televisión digital satelital. Particularmente la comunidad interesada en televisión satelital, obtendrá de este proyecto técnico una fuente de información sobre los bloques funcionales del estándar DVB-S2, que mediante la simulación le permitirán comprender de mejor manera la arquitectura de la norma DVB-S2 con la implementación de la modulación APSK en el simulador del entorno simulink para analizar el funcionamiento y determinar el BER y la relación señal a ruido para las modulaciones QAM, QPSK y APSK y determinar de esta forma cual modulación ofrece el mejor rendimiento para el estándar DVB-S2.

### **1.4. Objetivos**

A continuación se presenta el objetivo general, así como los objetivos específicos para este proyecto.

#### **1.4.1. Objetivo general**

- Analizar y simular el estándar DVB-S2 de televisión digital satelital para determinar en qué medida mejora los parámetros del BER (Tasa de Bit Errado) y S/N (Relación de señal a ruido) con la modulación APSK con respecto a otras modulaciones para el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar la norma y la arquitectura para el estándar DVB-S2 de televisión digital satelital para comprender como implementar el diagrama de bloques en el simulador.
- Investigar la fundamentación teórica de la modulación APSK para implementarla en el simulador.
- Implementar en matlab la arquitectura del estándar DVB-S2 de los diversos tipos de modulaciones para analizar su funcionamiento.
- Determinar el BER y la relación señal a ruido para las modulaciones QAM, QPSK y APSK para determinar cuál es la mejor modulación para el estándar DVB-S2.

#### **1.5. Alcance**

El estándar DVB-S2 dispone de una eficiencia del 30% mayor que el estándar DVB-S, la cual permite una mayor gama de aplicaciones tales como servicios de radiodifusión, servicios interactivos (SI), contribución a la televisión digital y uso de los recursos del satélite, compatibilidad hacia la generación anterior, DVB-S. La modulación por desplazamiento de amplitud y de fase es un formato de modulación digital donde la información es transportada por la amplitud y la fase de una señal de la portadora. El problema a resolver es determinar el efecto sobre el BER y cómo la relación señal a ruido es afectada por la modulación APSK al ser utilizado en el estándar DVB-S2.

## CAPÍTULO II

### MARCO CONCEPTUAL

#### 2.1. Estándar DVB-S2

Este tipo de estándar es sencillo y flexible, el cual tiene varias aplicaciones por satélite como por ejemplo:

- Adaptador de flujos de entrada muy flexible el cual puede operar con diferentes formatos de entrada.
- FEC (sistema de corrección de errores), basado en LDPC (chequeo de paridad de baja densidad) con códigos BCH, permite el control casi libre de errores QEF (Quasi-error-free).
- Maneja un rango desde  $\frac{1}{4}$  hasta  $\frac{9}{10}$  de tasa de código FEC.
- Un ACM (adaptive codification and modulation) su función es optimizar el canal, trama por trama y los datos que se transmite son modulados.

Tipos de codificación de errores se describe a continuación:

- **LDPC (Low Density Parity Check)**

Es una codificación de chequeo de baja densidad de paridad, es una clase de código de corrección de error lineal que permite transmitir mensajes por un canal ruidoso, es decir que es una matriz la cual tiene todas sus columnas de un mismo grado, es decir la misma cantidad de unos por columnas y lo mismo sucede con las filas, además permite comunicar con una gran eficiencia cerca al límite de Shannon.

- **BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem)**

BCH se utiliza para corregir errores esporádicos cometidos por el decodificador LDPC, mediante un código cíclico de la generalización del código de Hamming para corregir errores.

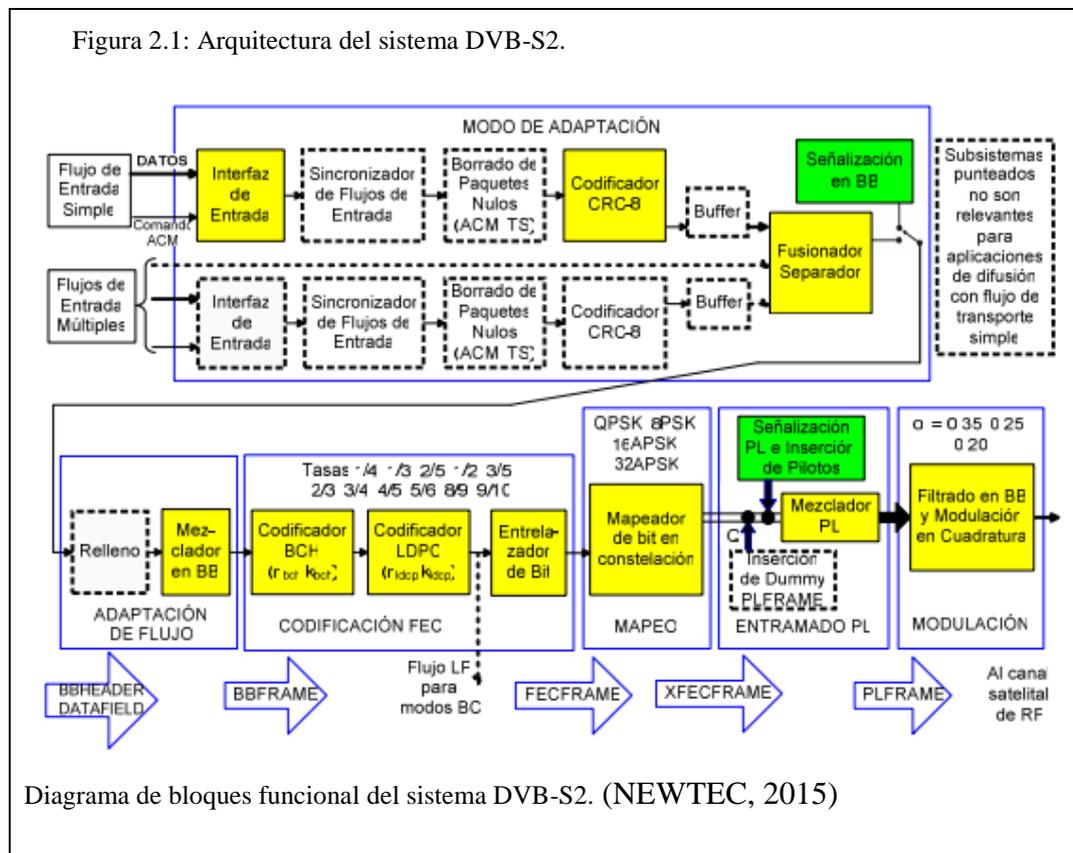
Tipo de transmisión usada por el estándar DVB-S2

- **DTH (Direct-to-home)**

DVB-S2 está destinado a proporcionar servicios directos al hogar (DTH – Direct to home) para el consumidor integrando un decodificador receptor (IRD), así como los sistemas colectivos de antena (por satélite con antena de televisión - SMATV) y de cabecera de televisión por cable estaciones (posiblemente con demodulación, véase la Norma EN 300 429 (ETSI, 1998) ).

## 2.2. Arquitectura del estándar DVB-S2

Diversas arquitecturas se han desarrollado a lo largo de la última década en base principalmente a las modulaciones más usadas en las distintas comunicaciones por satélite. En la figura 2.1 se ilustra una arquitectura general del estándar DVB-S2. [3]



DVB-S2 puede ser considerado como un sucesor del actual DVB-S estándar EN 300 421 [2], y se introduzca con nuevos servicios y permitir una migración a largo plazo. Los servicios son transportados en formato MPEG Transport Stream. VCM (Variable Coding and Modulation) se puede aplicar en flujo de transporte múltiple para lograr una mayor protección contra errores para diferentes servicios (televisión, televisión de alta definición, audio, multimedia). Hay dos modos disponibles:

- NBC-BS (Non Backwards Compatible Broadcast Services) no es compatible con la norma EN 300 421. (ETSI, 1997)
- BC-BS (Backwards-Compatible Broadcast Services) es compatible con la norma EN 300 421. (ETSI, 1997)

De hecho, con un gran número de receptores DVB-S ya instalado, la compatibilidad con la anterior versión se puede requerir por un periodo de tiempo, donde los viejos receptores siguen recibiendo la misma capacidad que antes, mientras que los nuevos receptores DVB-S2 podrán recibir emisiones adicionales de mayor capacidad y calidad. Cuando la población completa haya migrado a un receptor DVB-S2, la transmisión de la señal puede ser modificada a un modo compatible pero ya no regresar al anterior el DVB-S, explotando así al máximo el potencial de DVB-S2. Facilita la recepción de los servicios DVB-S por los receptores DVB-S2, la aplicación de DVB-S en los chips de DVB-S2 es altamente recomendado.

DVB-S2 está destinado a proporcionar servicios interactivos a los IRD (Integrated receiver and decoder) encargado de demodular y decodificar las señales recibidas, donde DVB-S2 reemplaza a la actual norma DVB-S EN 300 421 [2] para los sistemas interactivos.

### **2.3. Tipos de modulación que soporta el estándar DVB-S2**

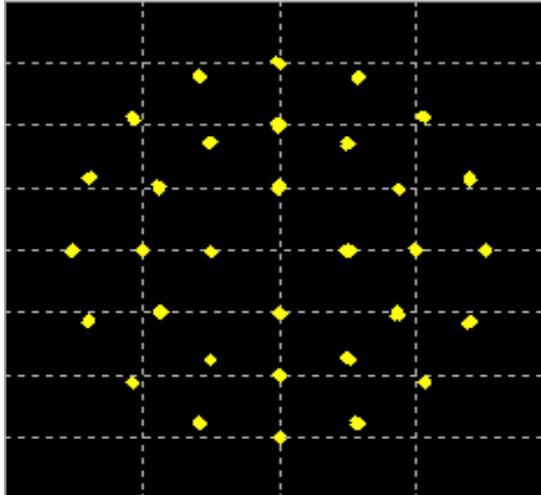
El estándar DVB-S2 soporta 4 tipos de modulación las cuales son QPSK y 8PSK para aplicaciones broadcasting y necesita transpondedores no lineales para 16APSK y 32APSK requiere transpondedores semilineales.

### **2.3.1. APSK (Amplitude phase-shift keying)**

Modulación por desplazamiento de amplitud y fase representa un esquema de modulación atractivo para las transmisiones digitales satelitales debido a su potencia y eficiencia espectral combinado con su robustez contra la distorsión. En 1970 se concluyó que APSK realizaba peores esquemas que PSK para la modulación de una sola portadora. Sin embargo en 2006 esta conclusión se revertió. APSK se ha convertido hoy en día en el esquema de modulación de las comunicaciones por satélite más utilizado. Además APSK se utiliza para el standard DVB-S2 el cual es un estándar para enlace directo de radiodifusión de video digital por satélite, opera principalmente en la banda Ku (12/14 GHz) y Ka (20/30 GHz). El uso de APSK, de amplitud y fase estos esquemas están siendo considerados para muchas aplicaciones, incluyendo 5G, también para usuarios de plataformas móviles, tales como aviones, barcos y trenes.

APSK es un esquema de modulación digital que transmite datos cambiando o modulando, tanto la amplitud y la fase de una señal de referencia (la onda portadora). En otras palabras, se combina la modulación por desplazamiento de amplitud (ASK) y modulación por desplazamiento de fase (PSK) para aumentar el símbolo de conjunto. La ventaja sobre QAM convencional, por ejemplo 16QAM, tiene menor número de niveles de amplitud. Para QAM rectangular se tiene una pérdida de 1.56 dB.

Figura 2.2: Diagrama de constelación de 32-APSK



Constelación para la señal 32-APSK, Luis Guerra

## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS Y SIMULACIÓN**

#### **3.1. Introducción**

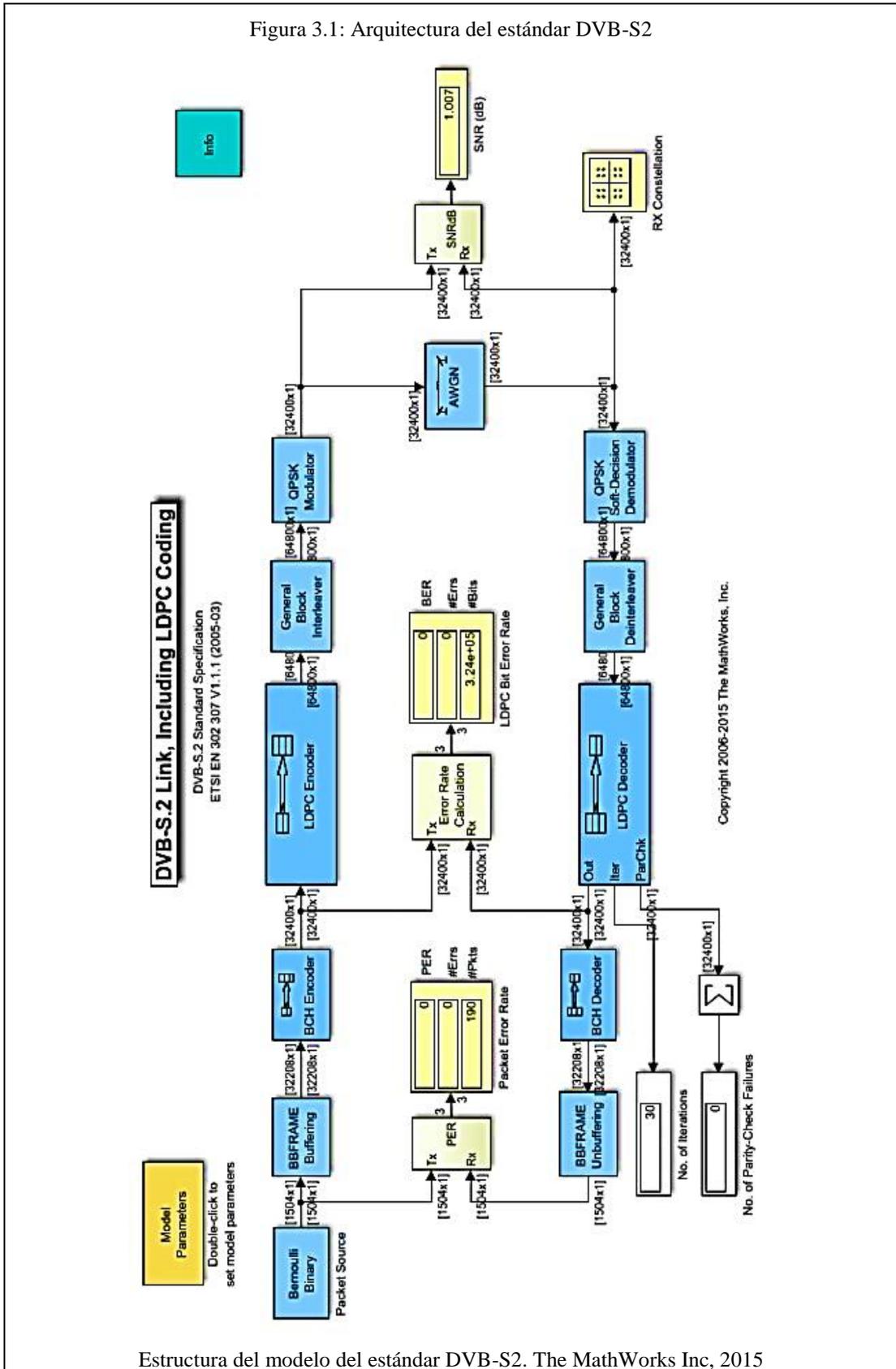
En este capítulo se presenta la arquitectura de la simulación del estándar DVB-S2, además se realiza la implementación de la modulación APSK en el simulador del entorno Simulink para analizar su funcionamiento, determinar el BER y la relación señal a ruido para las modulaciones BPSK, QAM, QPSK y APSK, de esta forma determinar que modulación ofrece el mejor rendimiento para el estándar DVB-S2.

#### **3.2. Simulación de la arquitectura del Estándar DVB-S2**

Este modelo muestra el esquema de codificación de canales de última generación utilizado en la norma DVB-S.2 de la segunda generación de Digital Video Broadcasting. El esquema de codificación se basa en la concatenación de los códigos LDPC (Low-Density Parity-Check) y BCH. Los códigos LDPC, inventados por Gallager en su tesis doctoral seminal en 1960, pueden lograr tasas de error extremadamente bajas cerca de la capacidad del canal usando un algoritmo iterativo de decodificación de baja complejidad. Los códigos BCH externos se utilizan para corregir errores esporádicos cometidos por el decodificador LDPC.

Los códigos de canal para DVB-S.2 proporcionan una ganancia de capacidad significativa sobre DVB-S en las mismas condiciones de transmisión y permiten una operación Quasi-Error-Free (tasa de error de paquete por debajo de  $10^{-7}$ ) a aproximadamente 0,7 dB a 1 dB desde el límite Shannon, dependiendo del modo de transmisión.

Figura 3.1: Arquitectura del estándar DVB-S2



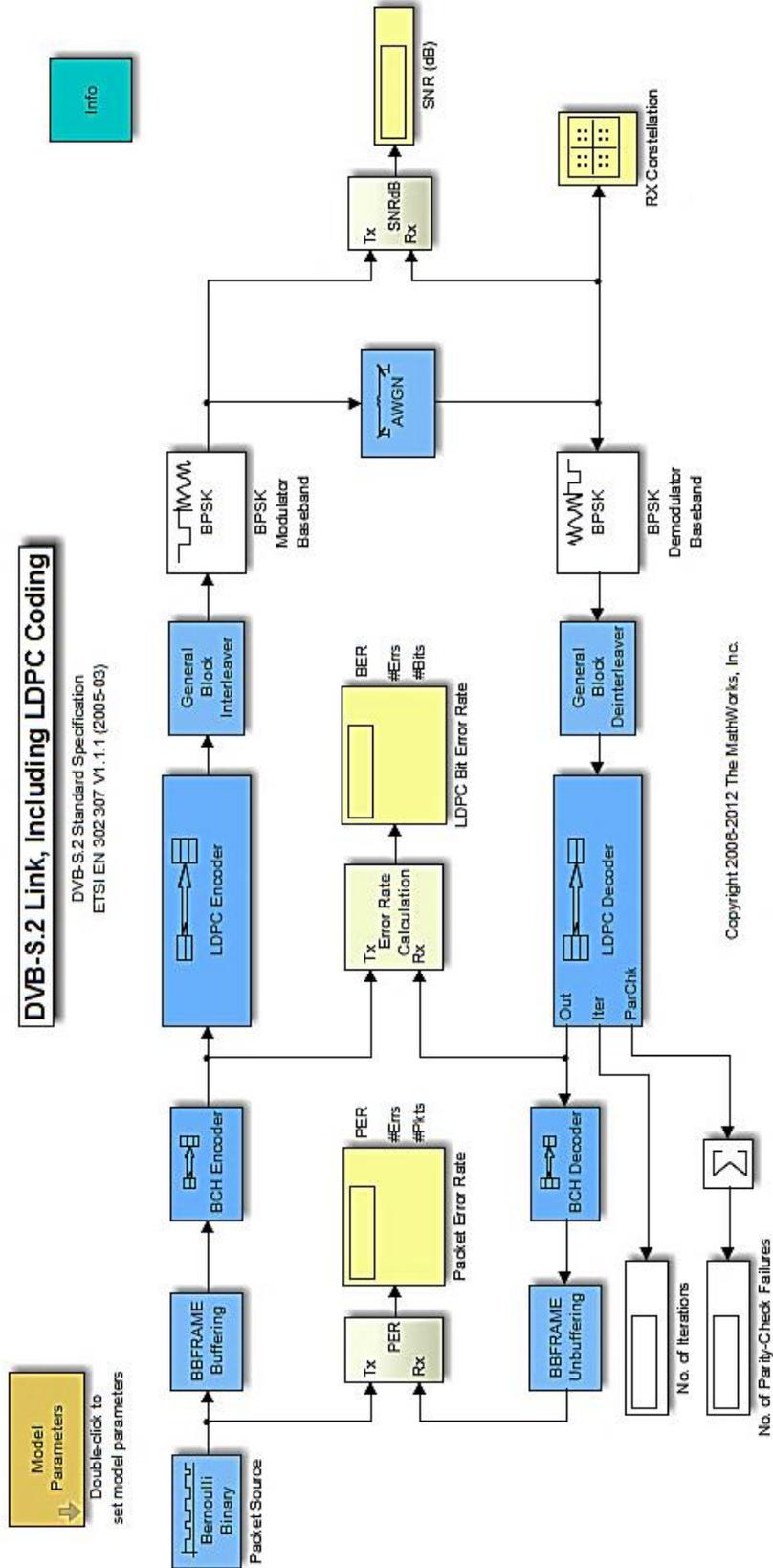
Estructura del modelo del estándar DVB-S2. The MathWorks Inc, 2015

### **3.3. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para BPSK en Simulink**

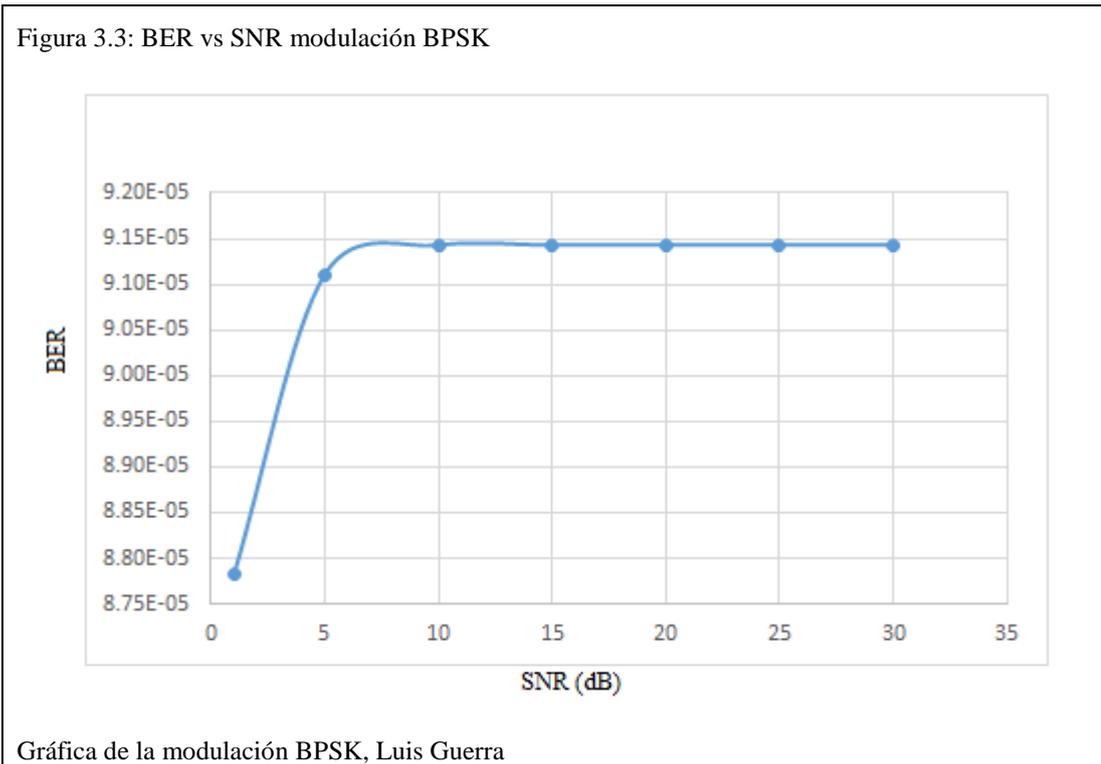
Para la realización de la simulación para modulación QAM aplicada al modelo de estándar DVB-S2 a simular, con la cual se busca obtener toda la información que sea posible para determinar el efecto sobre el BER y cómo la relación señal a ruido es afectada por la modulación QAM al ser utilizado en el estándar DVB-S2.

Se empezará por presentar la simulación de la modulación para BPSK en la Figura 3.2.

Figura 3.2: Arquitectura del estándar DVB-S2 para BPSK



Estructura del modelo del estándar DVB-S2. The MathWorks Inc, 2012



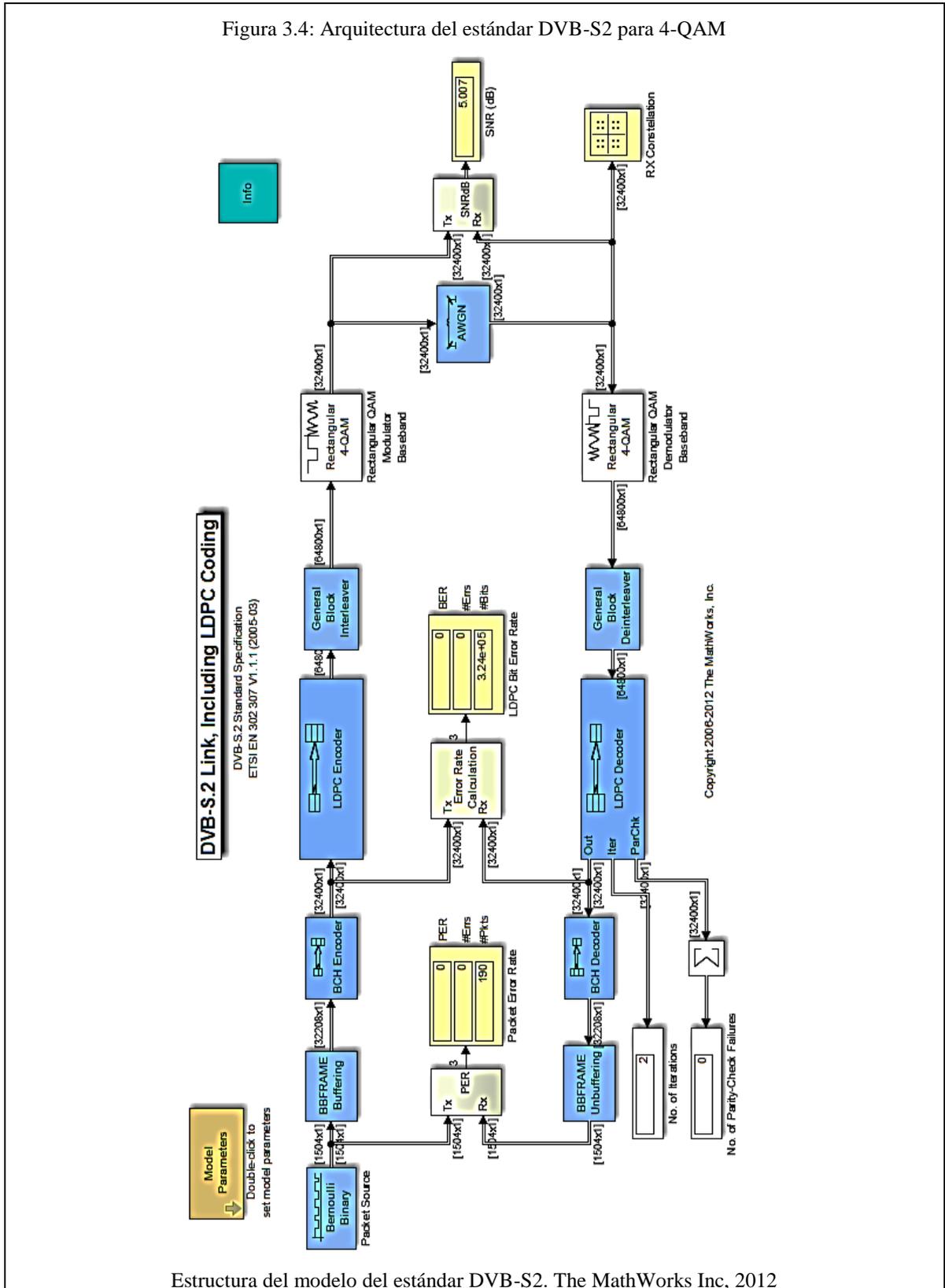
En la gráfica de la figura 3.3 se puede observar cómo el BER alcanza un valor de 0.9143 y se mantiene constante una vez que alcanza los 10 dB en adelante.

### 3.4. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 4-QAM en Simulink

Para la realización de la simulación para modulación QAM aplicada al modelo de estándar DVB-S2 a simular, con la cual se busca obtener toda la información que sea posible para determinar el efecto sobre el BER y cómo la relación señal a ruido es afectada por la modulación QAM al ser utilizado en el estándar DVB-S2.

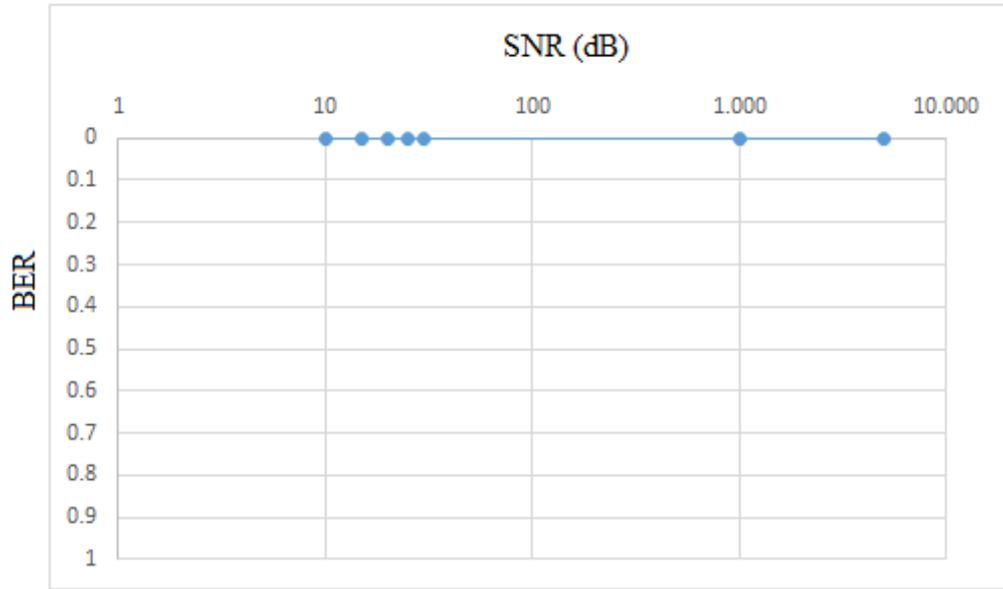
Se empezará por presentar la simulación de la modulación para 4-QAM en la Figura 3.4.

Figura 3.4: Arquitectura del estándar DVB-S2 para 4-QAM



Estructura del modelo del estándar DVB-S2. The MathWorks Inc, 2012

Figura 3.5: BER vs SNR para 4-QAM



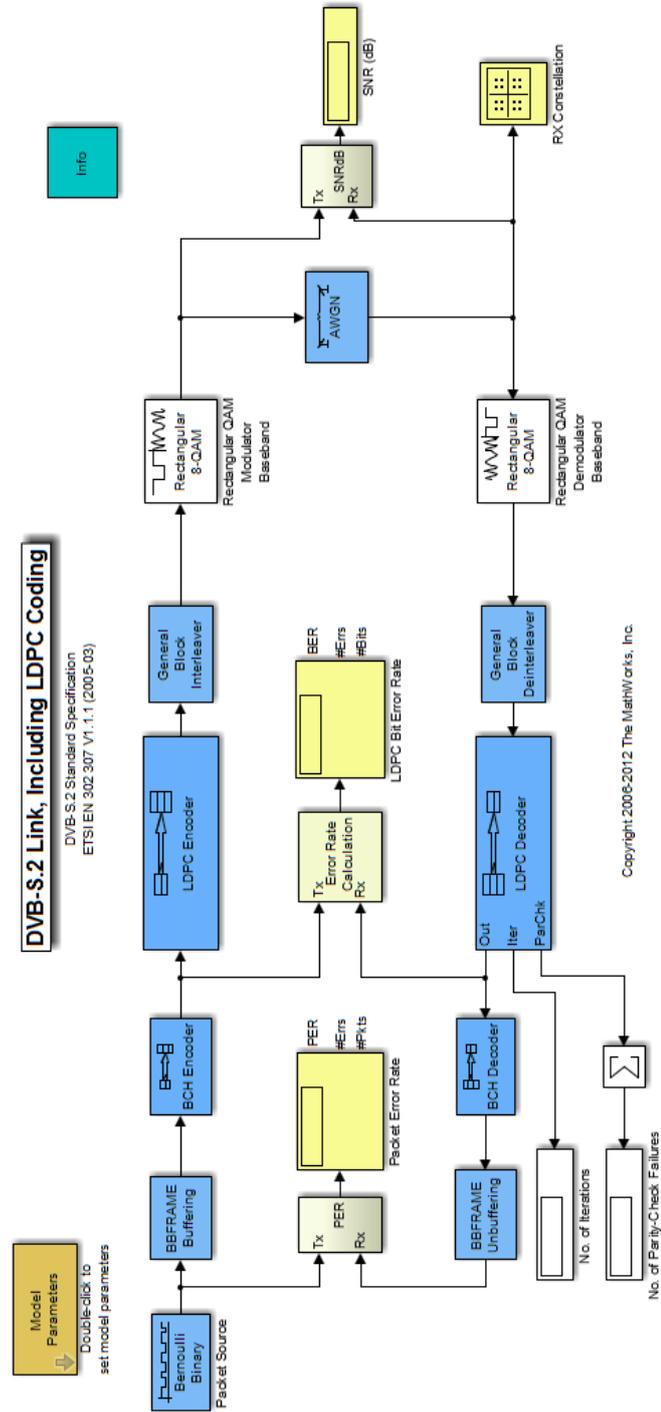
Gráfica de la modulación 4-QAM, Luis Guerra

En la gráfica se puede observar cómo antes de los 10dB existe mucho ruido en el canal mientras el valor de S/N (la relación de señal a ruido) aumenta la transmisión se vuelve más estable con un  $BER=2.16 \times 10^{-4}$ .

### 3.5. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 8-QAM en Simulink

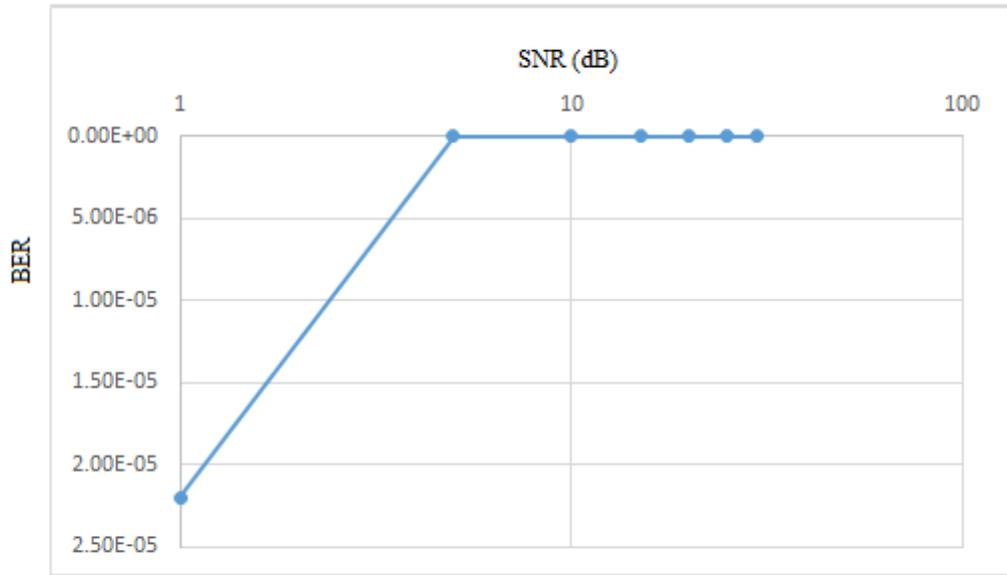
Simulación de la modulación para 8-QAM en la Figura 3.6.

Figura 3.6: Arquitectura del estándar DVB-S2 para 8-QAM



Estructura del modelo del estándar DVB-S2. The MathWorks Inc, 2012

Figura 3.7: BER vs SNR para 8-QAM



Gráfica de la modulación 8-QAM, Luis Guerra

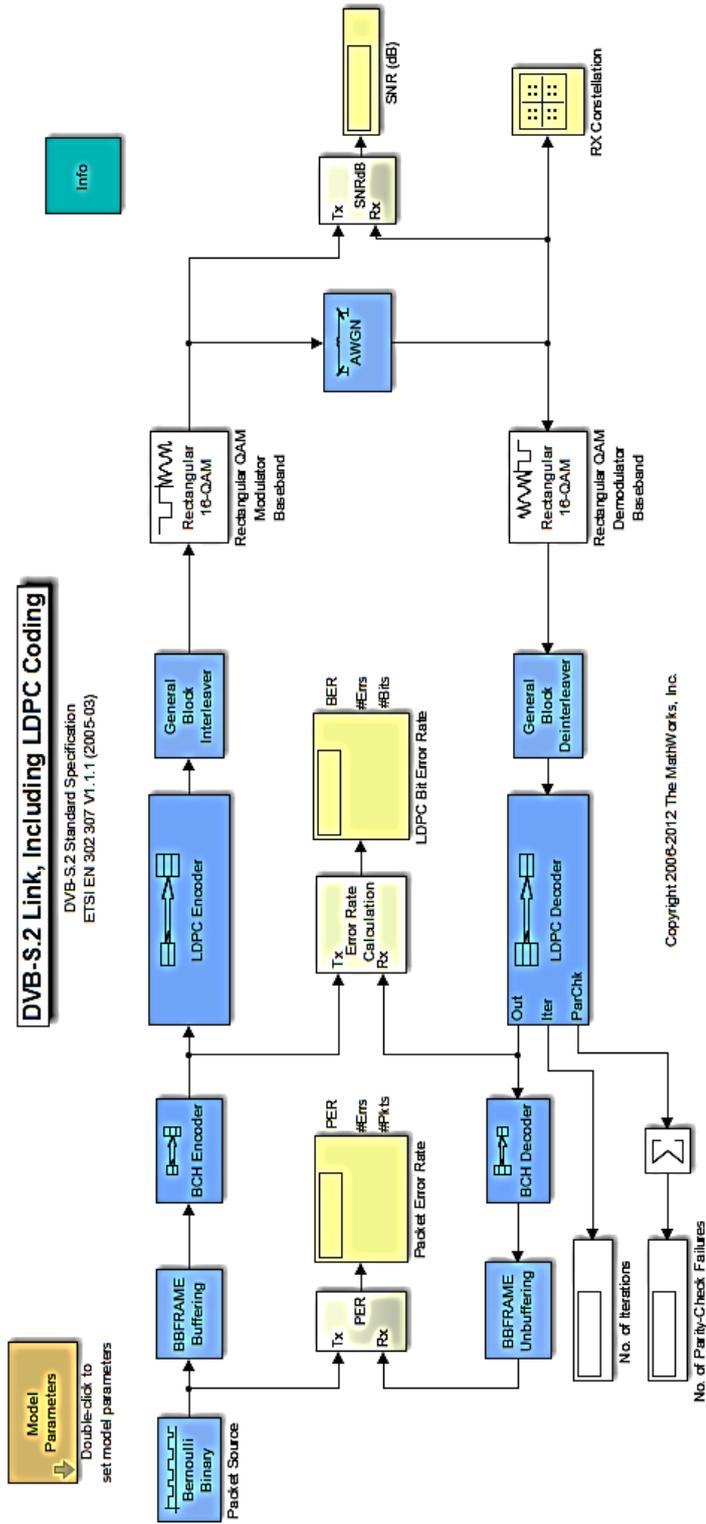
Se puede observar en la gráfica cuando SNR=5.06 dB, la Tasa de Bit Errado (BER)= $2.20 \times 10^{-4}$  el canal se vuelve menos ruidoso.

### 3.6. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 16-QAM en Simulink

Para emplear la modulación 16-QAM se procede a cambiar el modulador y el demodulador por el bloque de función QAM rectangular de la simulación del estándar DVB-S2.

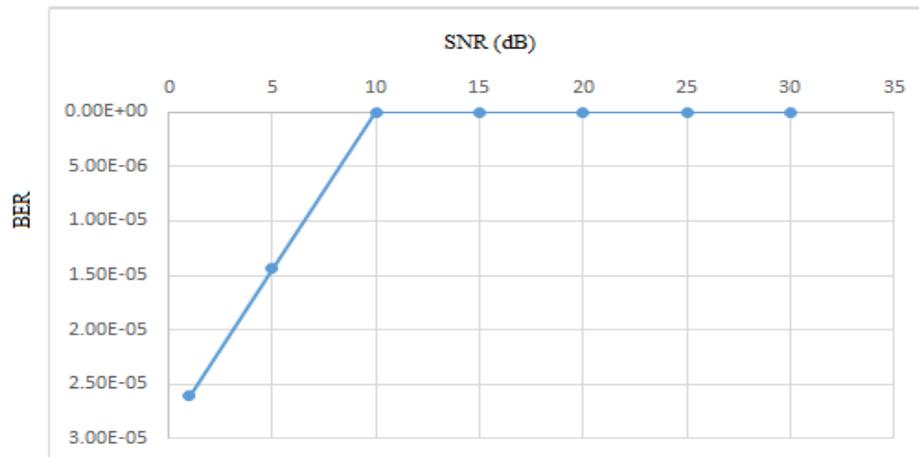
Como se muestra en la figura 3.8:

Figura 3.8: Arquitectura del estándar DVB-S2 para 16-QAM



Estructura del modelo del estándar DVB-S2. The MathWorks Inc, 2012

Figura 3.9: BER vs SNR para 16-QAM



Gráfica de la modulación 16-QAM, Luis Guerra

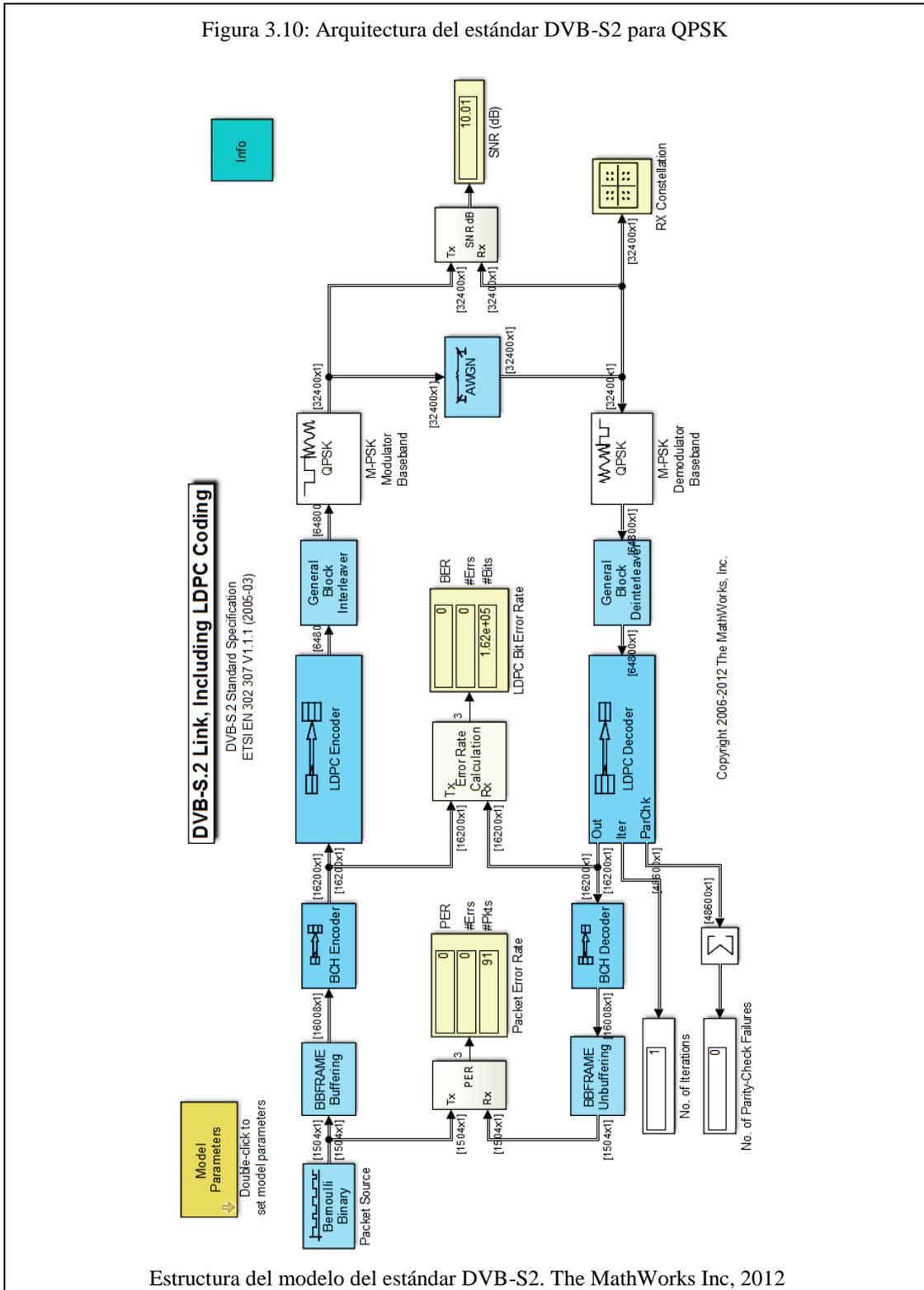
Se puede observar en la gráfica de la figura 3.9. Para la modulación 16-QAM que mientras el SNR = 10dB decrece el valor del BER (Tasa de Bit Errado) =  $1.44 \times 10^{-4}$ .

### 3.7. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para QPSK en Simulink

Para emplear la modulación QPSK procedemos a cambiar el modulador y demodulador anterior y lo insertamos con las modificaciones necesarias para adaptarse al sistema del estándar DVB-S2.

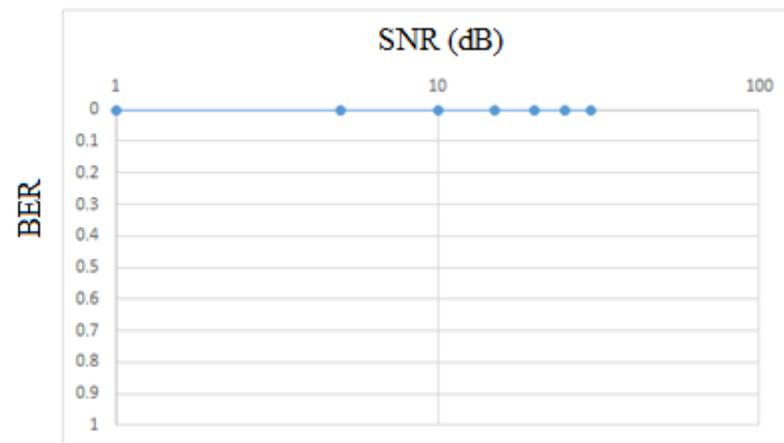
Como se muestra en la Figura 3.10

Figura 3.10: Arquitectura del estándar DVB-S2 para QPSK



Estructura del modelo del estándar DVB-S2. The MathWorks Inc, 2012

Figura 3.11: BER vs SNR para QPSK



Gráfica de la modulación QPSK, Luis Guerra

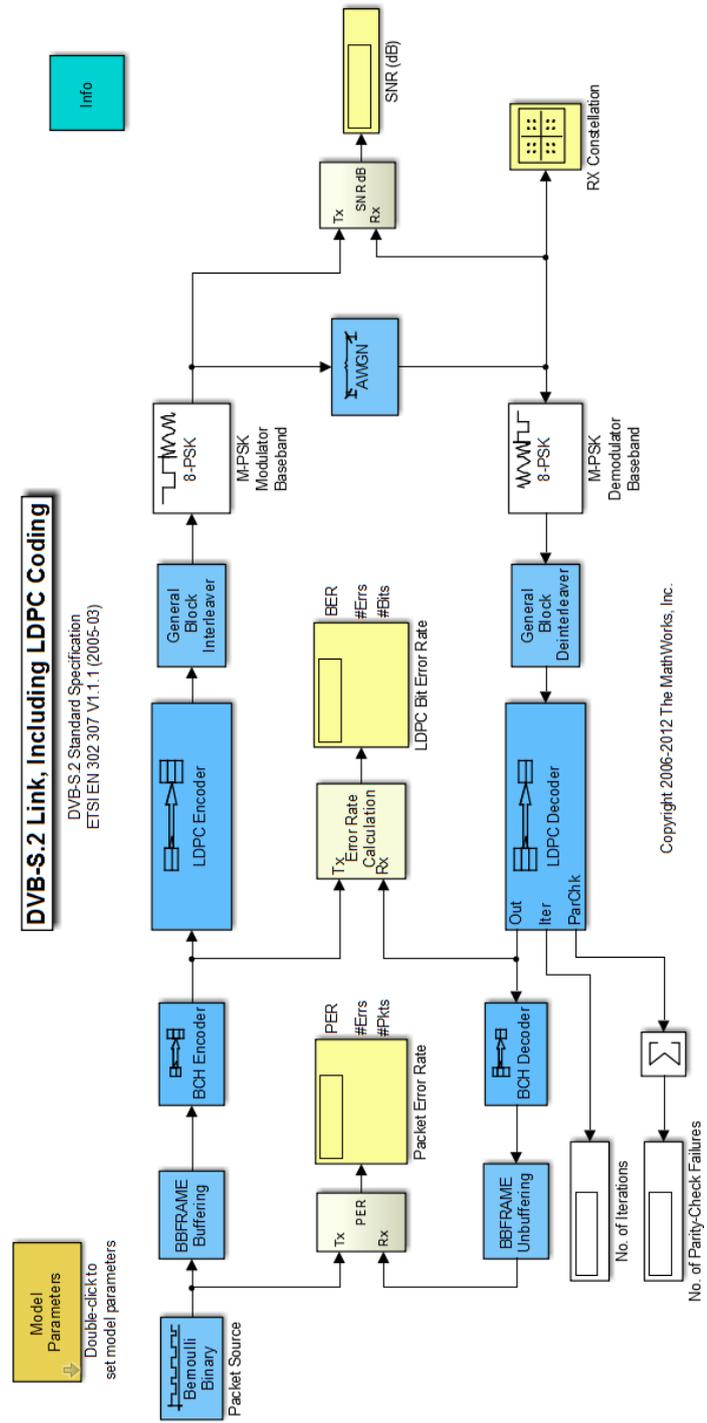
Se puede observar en la gráfica de la figura 3.11. Para la modulación QPSK mientras mayor es el SNR (relación señal a ruido), permanece el BER (Tasa de bit errado) =  $2.65 \times 10^{-4}$ .

### 3.8. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 8-PSK en Simulink

Para la realización de la simulación de modulación M-PSK aplicada al modelo de estándar DVB-S2 a simular, con la cual se busca obtener toda la información que sea posible para determinar el efecto sobre el BER y cómo la relación señal a ruido es afectada por la modulación M-PSK al ser utilizado en el estándar DVB-S2.

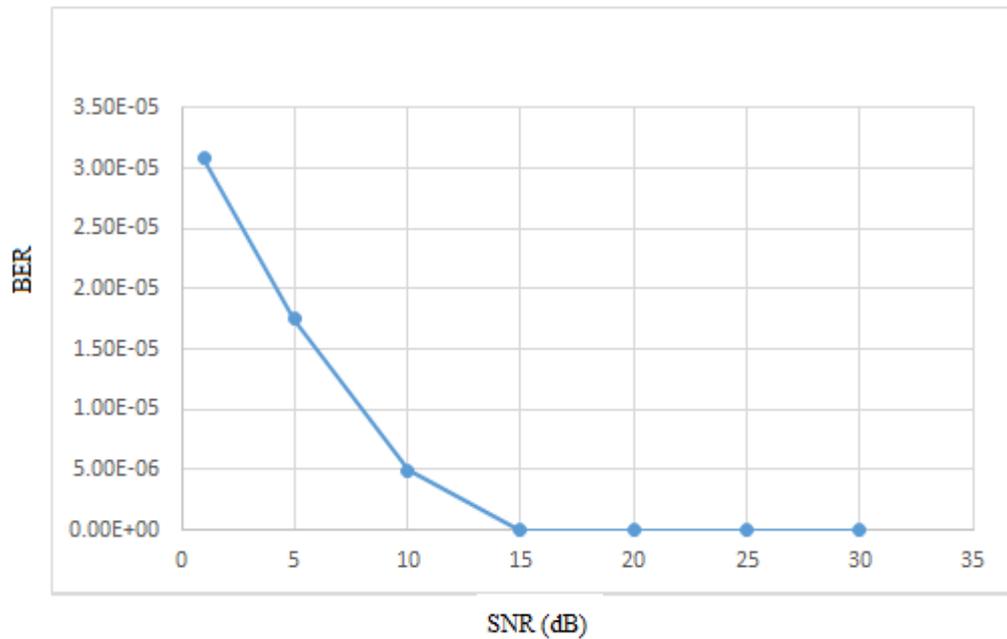
Se empezará por presentar la simulación de la modulación para 8-PSK en la Figura 3.12.

Figura 3.12: Arquitectura del estándar DVB-S2 para 8-PSK



Estructura del modelo del estándar DVB-S2. The MathWorks Inc, 2012

Figura 3.13: BER vs SNR para 8-PSK



Gráfica de la modulación 8-PSK, Luis Guerra

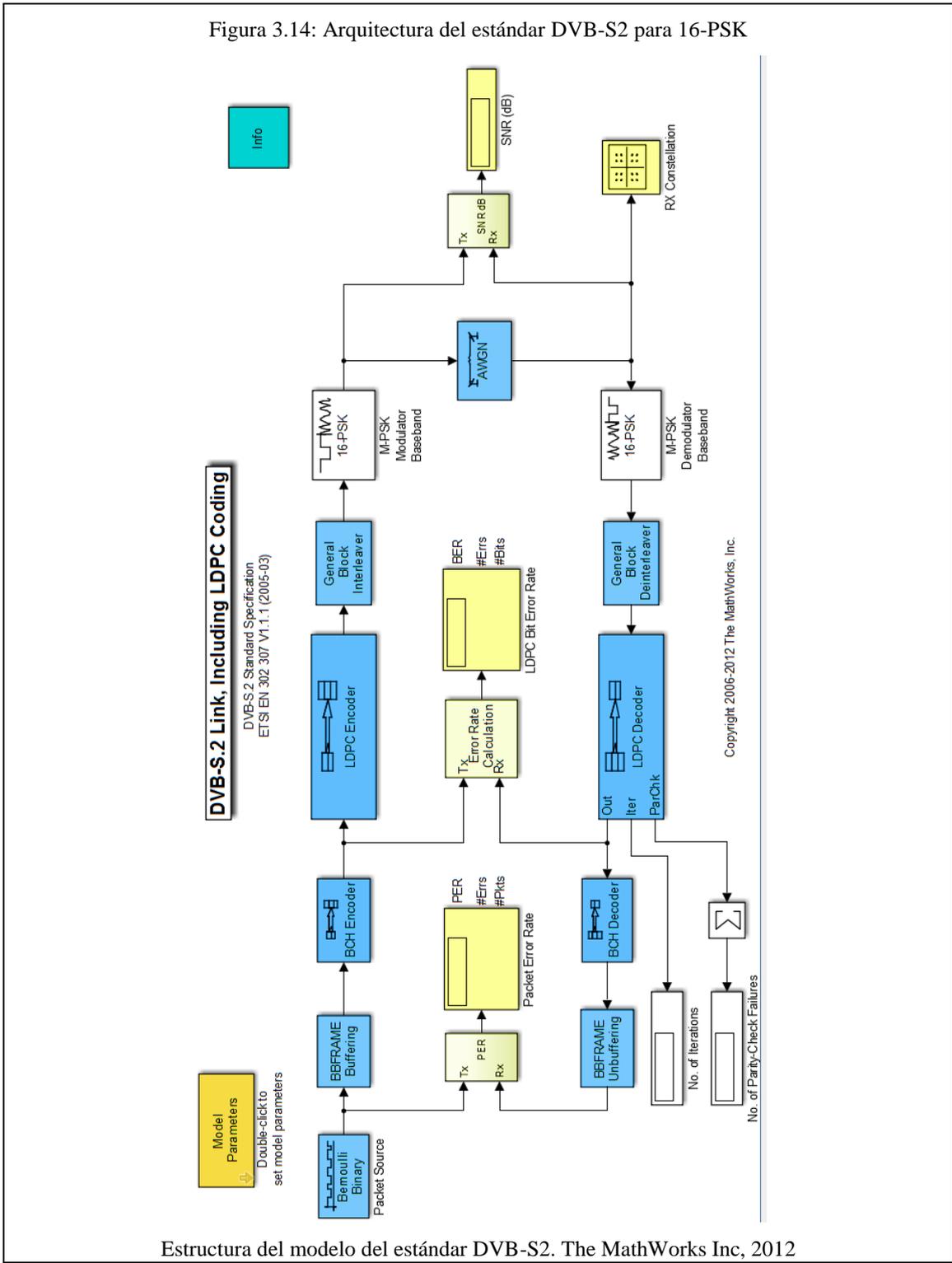
En la figura 3.13 se observa cómo mantiene un valor constante del BER (Tasa de Bit Errado)  $=4.98 \times 10^{-4}$ , mientras el valor SNR (relación señal a ruido)  $= 15\text{dB}$ .

### 3.9. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 16-PSK en Simulink

Para la realización de la simulación de modulación M-PSK aplicada al modelo de estándar DVB-S2 a simular, con la cual se busca obtener toda la información que sea posible para determinar el efecto sobre el BER y cómo la relación señal a ruido es afectada por la modulación M-PSK al ser utilizada en el estándar DVB-S2.

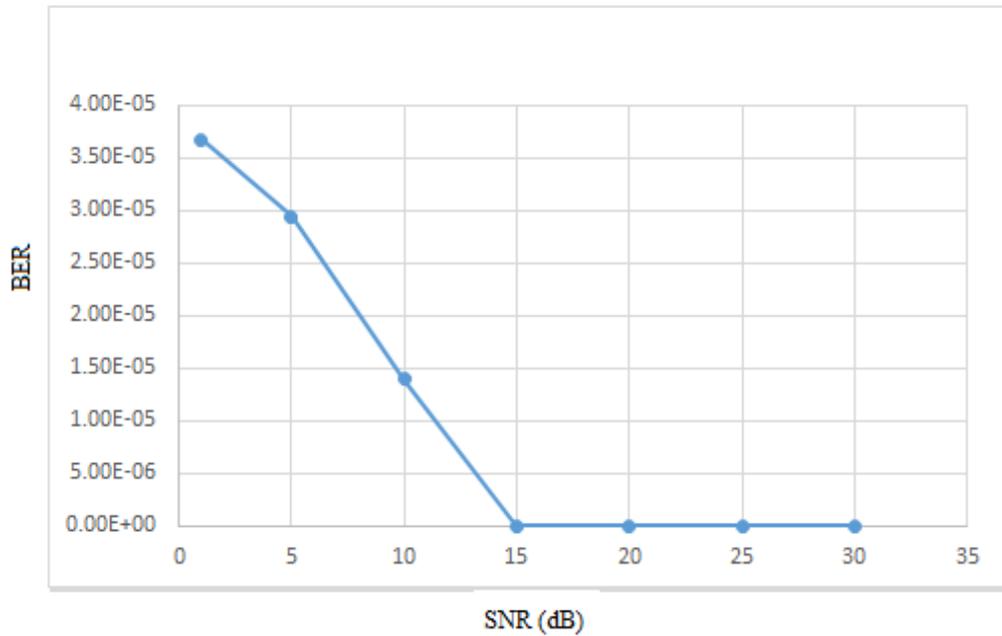
Se empezará por presentar la simulación de la modulación para 16-PSK en la Figura 3.14.

Figura 3.14: Arquitectura del estándar DVB-S2 para 16-PSK



Estructura del modelo del estándar DVB-S2. The MathWorks Inc, 2012

Figura 3.15: BER vs SNR para 16-PSK



Gráfica de la modulación 16-PSK, Luis Guerra

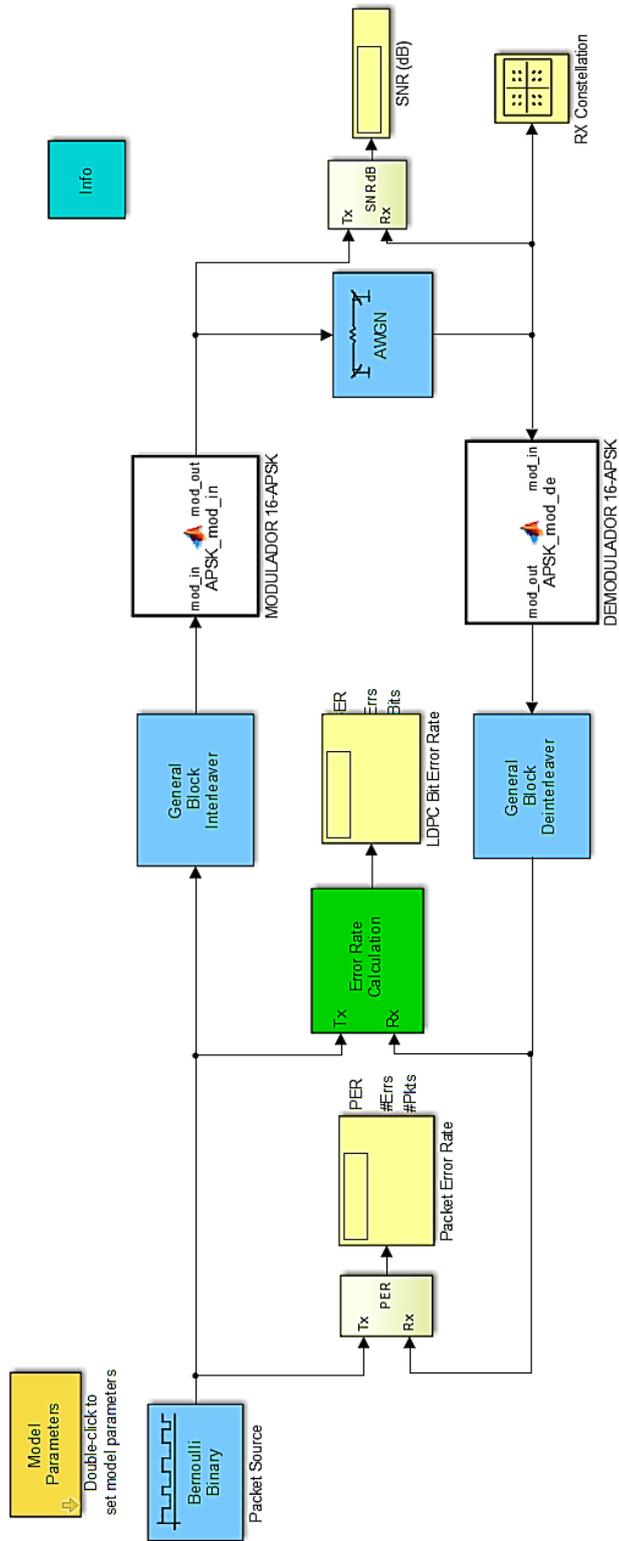
En la figura 3.15 se puede observar como al aumentar el valor de SNR=15dB, se mantiene constante el valor del BER=  $1.39 \times 10^{-4}$ .

### 3.10. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 16-APSK en Simulink

Para realizar la simulación de la modulación APSK aplicada al modelo de estándar DVB-S2 a simular, se logra obtener mediante la modulación y demodulación programada en un bloque de funciones en MATLAB con la cual se busca obtener toda la información que sea posible para determinar el efecto sobre el BER y cómo la relación señal a ruido es afectada por la modulación APSK al ser utilizada en el estándar DVB-S2.

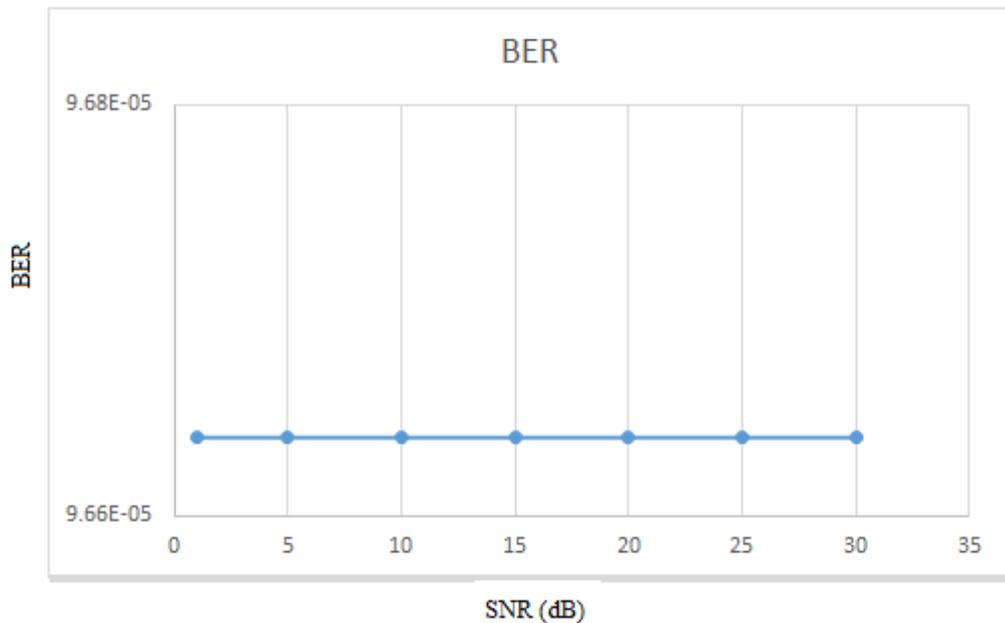
Se empezará por presentar la simulación de la modulación para 16-APSK en la Figura 3.16.

Figura 3.16: Arquitectura del estándar DVB-S2 para 16-APSK



Estructura del modelo del estándar DVB-S2. The MathWorks Inc, 2015

Figura 3.17: BER vs SNR para 16-APSK



Gráfica de la modulación 16-APSK, Luis Guerra

En la figura 3.17 se puede observar como al aumentar el valor de SNR, el valor del BER= $9.67 \times 10^{-5}$  se mantiene constante.

### 3.11. Simulación de la arquitectura DVB-S2 para 32-APSK en Simulink

Para realizar la simulación de la modulación APSK aplicada al modelo de estándar DVB-S2 a simular, se logra obtener mediante la modulación y demodulación programada en un bloque de funciones en MATLAB con la cual se busca obtener toda la información que sea posible para determinar el efecto sobre el BER y cómo la relación señal a ruido es afectada por la modulación APSK al ser utilizada en el estándar DVB-S2.

Se empezará por presentar la simulación de la modulación para 32-APSK en la Figura 3.18.

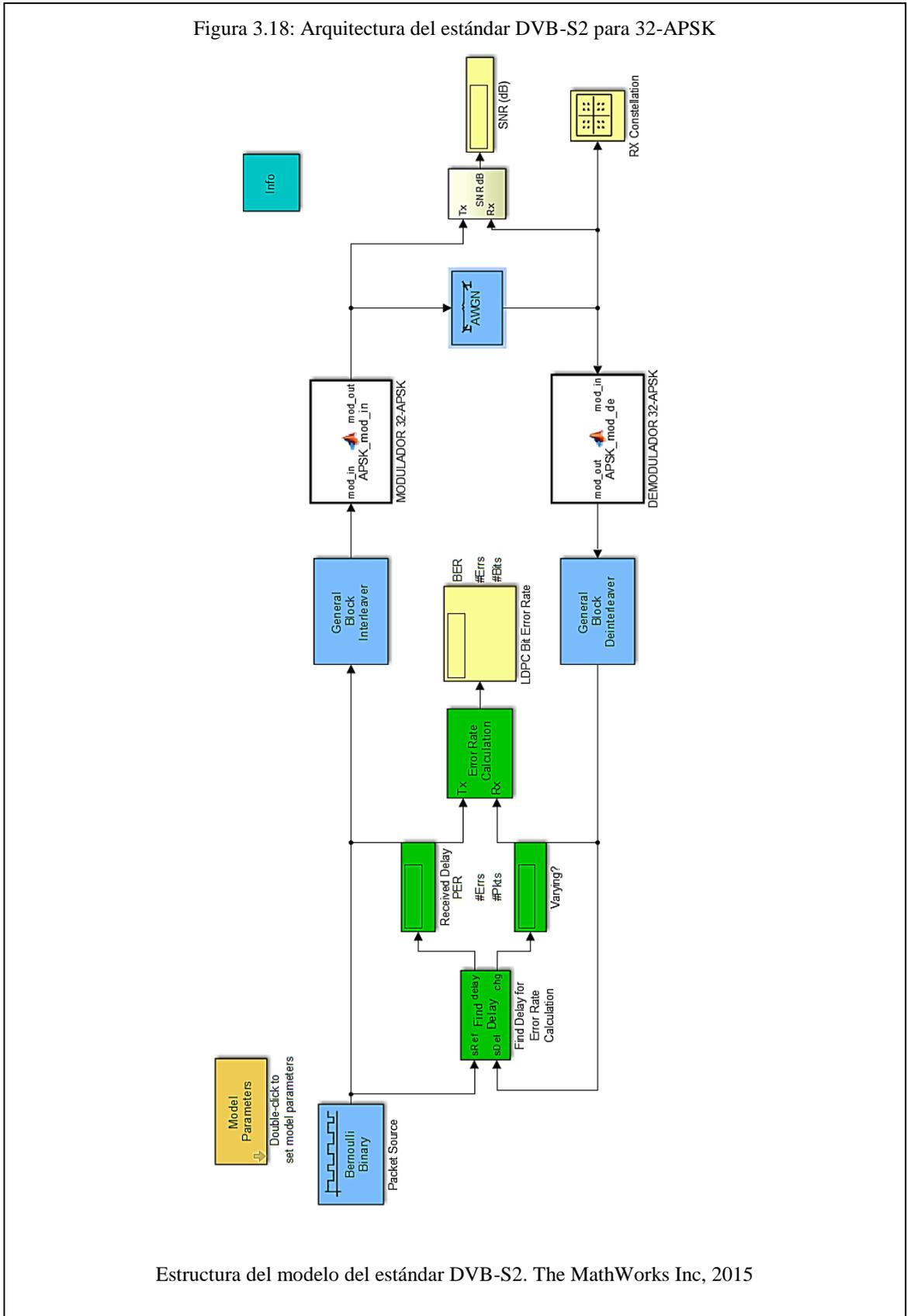
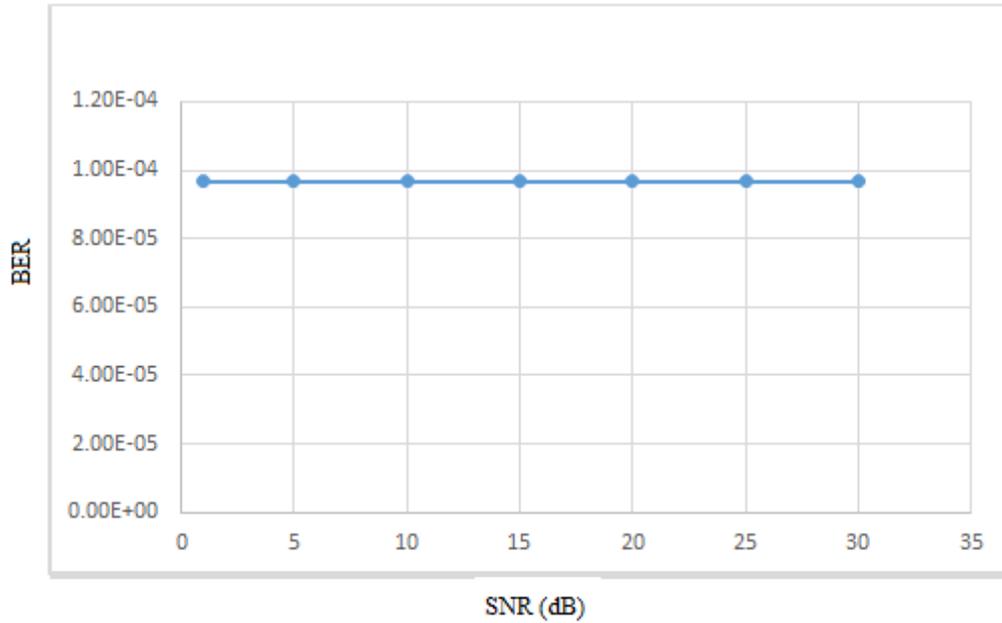


Figura 3.19: BER vs SNR para 32-APSK



Gráfica de la modulación 32-APSK, Luis Guerra

En la figura 3.19 se puede observar como aumenta el  $BER = 9.683 \times 10^{-5}$  y se mantiene constante al mismo tiempo que se va incrementando el valor de SNR.

Es por eso que en la figura 3.15 y 3.13 en el modelo de simulación para la modulación APSK en el sistema del estándar DVB-S2 el modulador y demodulador, estos Elementos fueron programados por parámetros estandarizados.

ETSI estándar para DVB-S2 define las tasas de energía de los símbolos que se encuentran en dos (para 16APSK) o tres (Para 32APSK). Estos están marcados con g o g1 y Para esta simulación, se conectó modulador y demodulador Matlab Function.

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

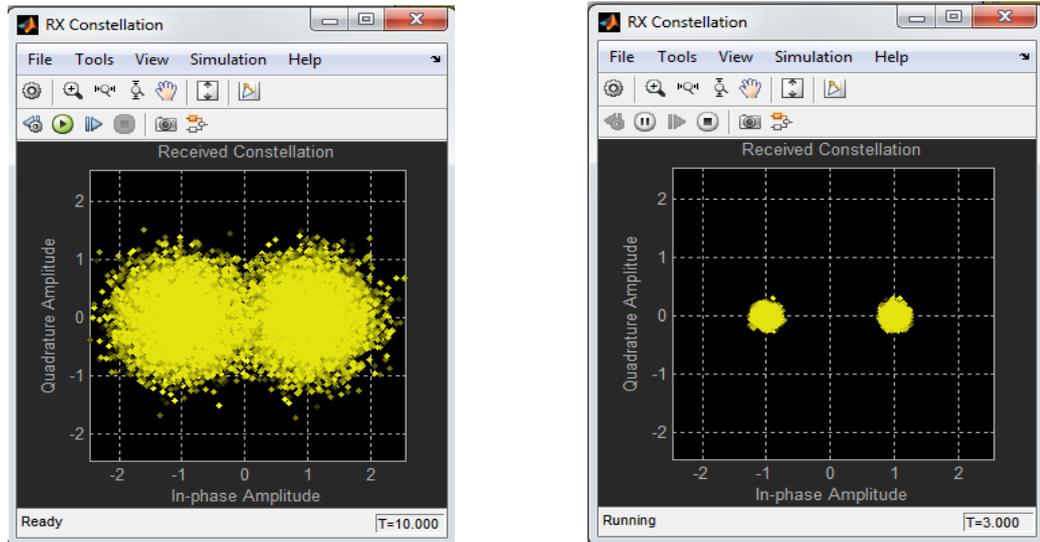
#### **4.1. Introducción**

En este capítulo se detalla las pruebas y resultados que se obtuvieron sobre las simulaciones del estándar DVB-S2 para los distintos tipos de modulaciones se presenta el diagrama de constelaciones de cada modulación del sistema del estándar DVB-S2 mediante el software Matlab, se desarrolló la programación y simulación en el entorno Simulink para realizar la implementación de varias modulaciones en la de simulación del estándar DVB-S2. Dichas plataformas se relacionan por medio de un bloque de funciones llamado Matlab-function (la respectiva información de su creación y configuración se encuentran en el Anexo 1); dicho bloque es parte principal del sistema DVB-S2 el cual se aplicará para obtener el diagrama de constelación de la modulación de 16APSK/32APSK, para obtener datos del SNR y del BER.

#### **4.2. Pruebas de la simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación BPSK.**

Se empezara mostrando el comportamiento de las constelaciones en cada una de las etapas de la simulación donde se varía el valor de SNR (relación señal a ruido) del canal de transmisión 1, 5, 10, 15, 20 y 30 dB en el sistema del estándar DVB-S2 en el entorno Simulink.

Figura 4.1: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN, escenario del sistema DVB-S2 por satélite para BPSK: a) SNR=5dB y b) SNR=20dB



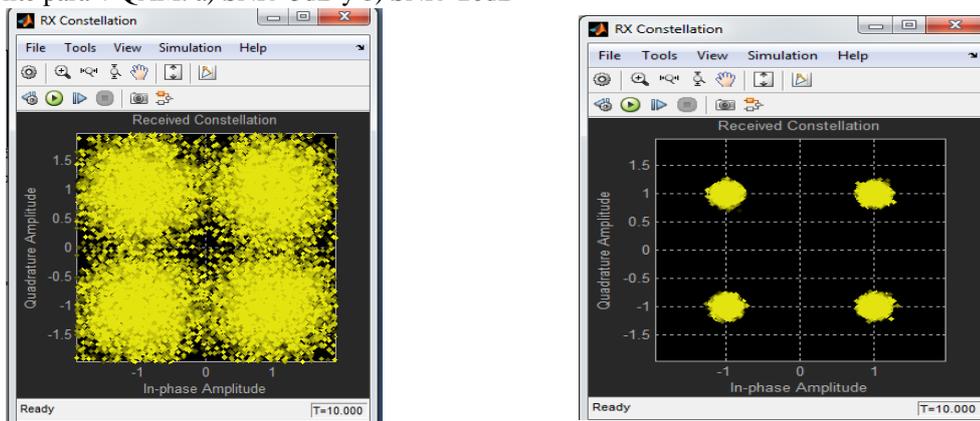
a) Canal AWGN, SNR = 5dB

b) Canal AWGN, SNR = 20 dB

#### 4.3. Pruebas de la simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación 4-QAM, 8-QAM y 16-QAM.

Se empezara mostrando el comportamiento de las constelaciones en cada una de las etapas de la simulación donde se varía el valor de SNR (relación señal a ruido) del canal de transmisión 1, 5, 10, 15, 20 y 30 dB en el sistema del estándar DVB-S2 en el entorno Simulink.

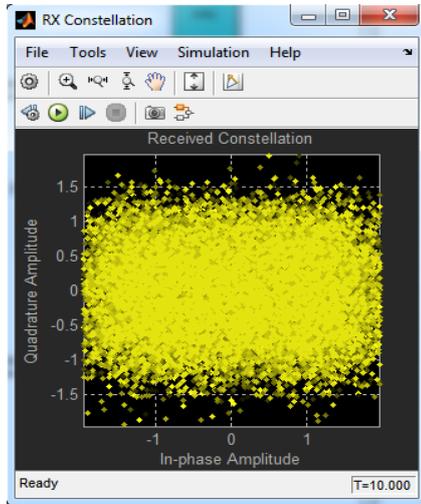
Figura 4.2: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN, escenario del sistema DVB-S2 por satélite para 4-QAM: a) SNR=5dB y b) SNR=20dB



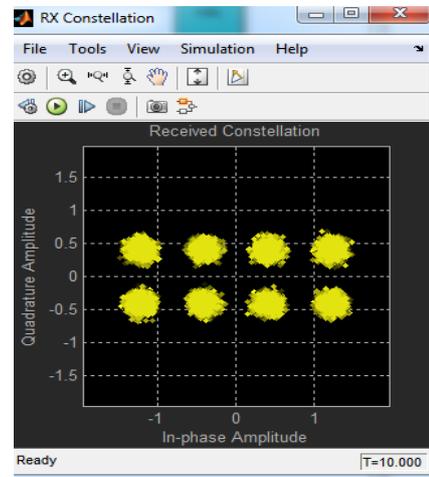
a) Canal AWGN, SNR = 5dB

b) Canal AWGN, SNR = 20 dB

Figura 4.3: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN, escenario del sistema DVB-S2 por satélite para 8-QAM: a) SNR=5dB y b) SNR=20dB

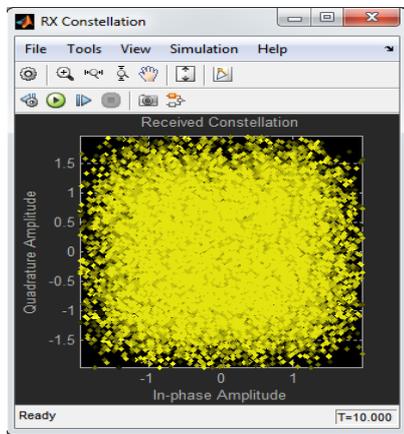


a) Canal AWGN, SNR = 5dB

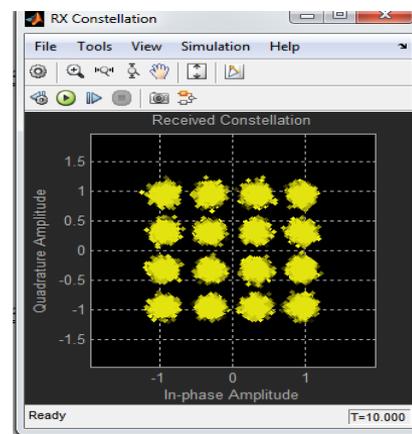


b) Canal AWGN, SNR = 20 dB

Figura 4.4: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN, escenario del sistema DVB-S2 por satélite para 16-QAM: a) SNR=5dB y b) SNR=20dB



a) Canal AWGN, SNR = 5dB



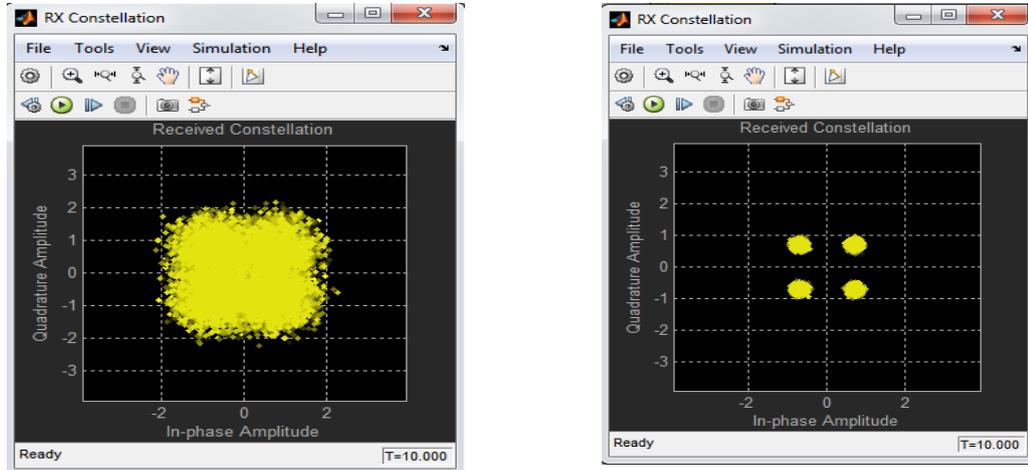
b) Canal AWGN, SNR = 20 dB

#### 4.4. Pruebas de la simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación QPSK.

Se empezara mostrando el comportamiento de las constelaciones en cada una de las etapas de la simulación donde se varía el valor de SNR (relación señal a ruido) del

canal de transmisión 1, 5, 10, 15, 20 y 30 dB en la simulación del estándar DVB-S2 en el entorno Simulink.

Figura 4.5: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN, escenario del sistema DVB-S2 por satélite para QPSK: a) SNR=5dB y b) SNR=20dB



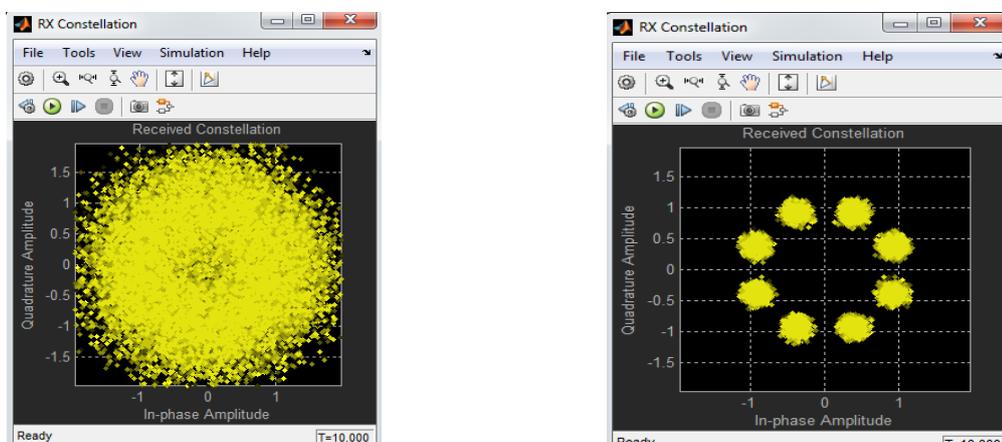
a) Canal AWGN, SNR = 5dB

b) Canal AWGN, SNR = 20 dB

#### 4.5. Pruebas de la simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación 8-PSK y 16-PSK.

Se empezara mostrando el comportamiento de las constelaciones en cada una de las etapas de la simulación donde se varía el valor de SNR (relación señal a ruido) del canal de transmisión 1, 5, 10, 15, 20 y 30 dB en la simulación del estándar DVB-S2 en el entorno Simulink.

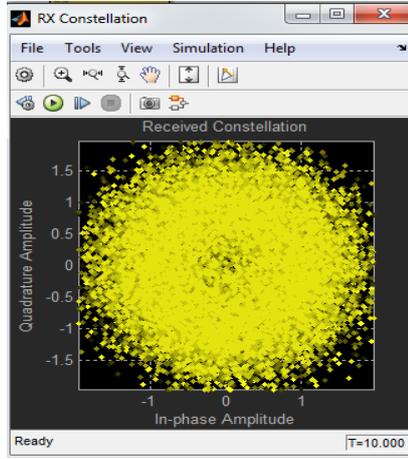
Figura 4.6: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN, escenario del sistema DVB-S2 por satélite para 8-PSK: a) SNR=5dB y b) SNR=20dB



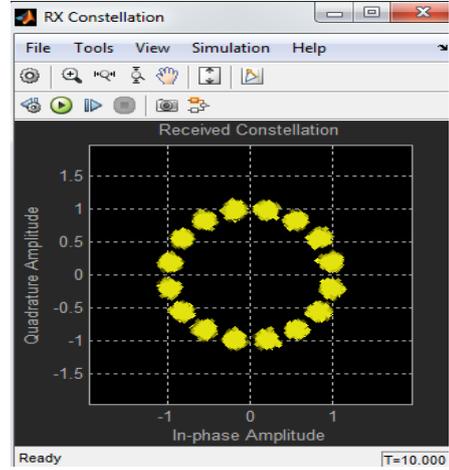
a) Canal AWGN, SNR = 5dB

b) Canal AWGN, SNR = 20 dB

Figura 4.7: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN, escenario del sistema DVB-S2 por satélite para 16-PSK: a) SNR=5dB y b) SNR=25dB



a) Canal AWGN, SNR = 5dB

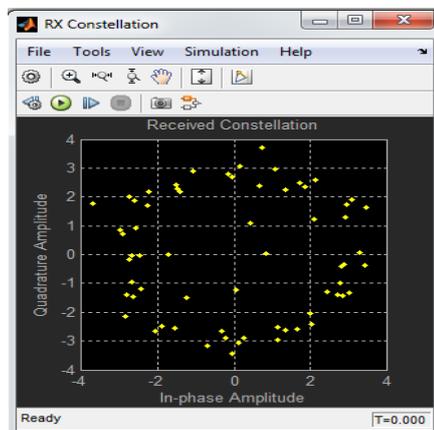


b) Canal AWGN, SNR = 25 dB

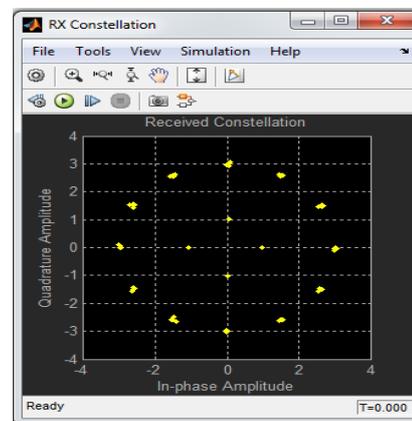
#### 4.6. Pruebas de la simulación de la arquitectura DVB-S2 para la modulación 16-APSK/32-APSK.

Se empezara mostrando el comportamiento de las constelaciones en cada una de las etapas de la simulación donde se varía el valor de SNR (relación señal a ruido) del canal de transmisión 1, 5, 10, 15, 20 y 30 dB en la simulación del estándar DVB-S2 en el entorno Simulink y además la creación de Matlab Function que se indica en el ANEXO 1.

Figura 4.8: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN, escenario del sistema DVB-S2 por satélite para 16-APSK: a) SNR=5dB y b) SNR=25dB



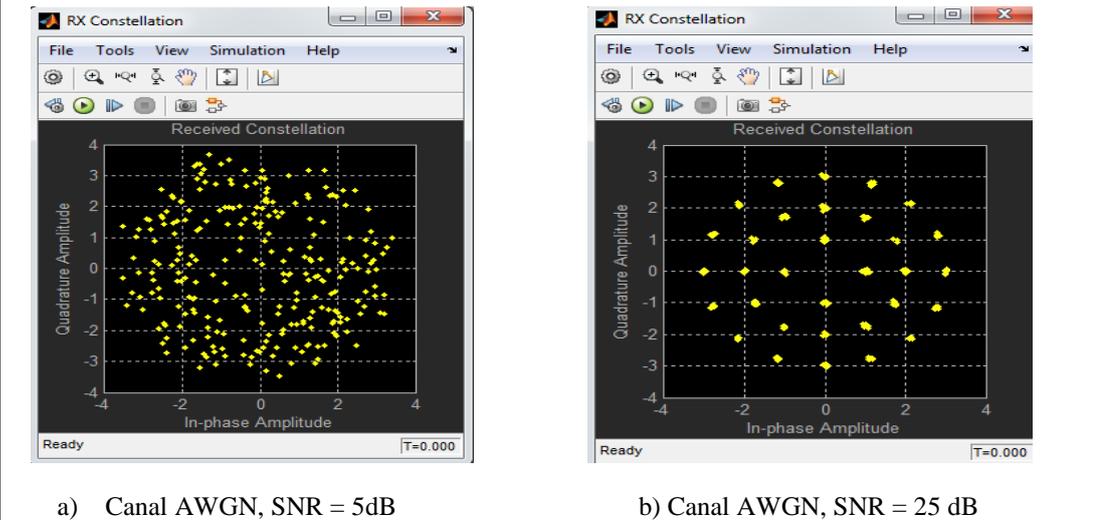
a) Canal AWGN, SNR = 5dB



b) Canal AWGN, SNR = 25 dB

Figura 4.9: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN, escenario del sistema DVB-S2 por

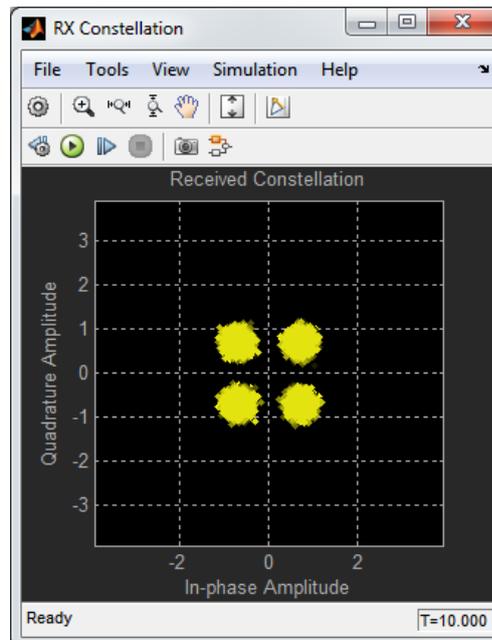
satélite para 32-APSK: a) SNR=5dB y b) SNR=25dB



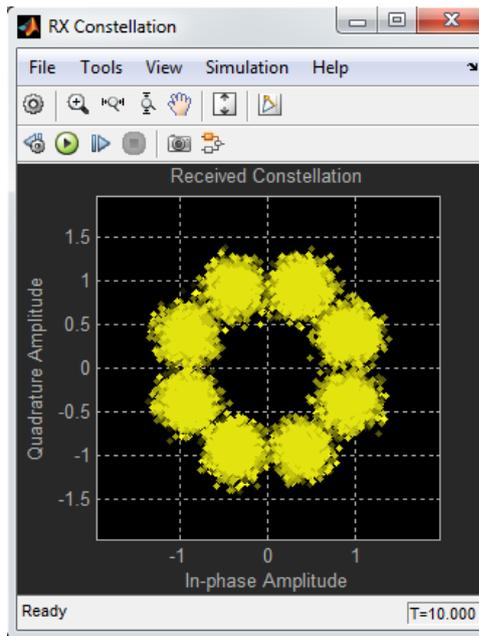
#### 4.7. Resultado de la comparación de las modulaciones en la arquitectura DVB-S2 para un mismo valor de SNR

Los diagramas de constelaciones representados en la simulación del estándar DVB-S2 con el mismo valor S/N (relación señal a ruido), se obtuvieron las siguientes graficas de la figura 4.10.

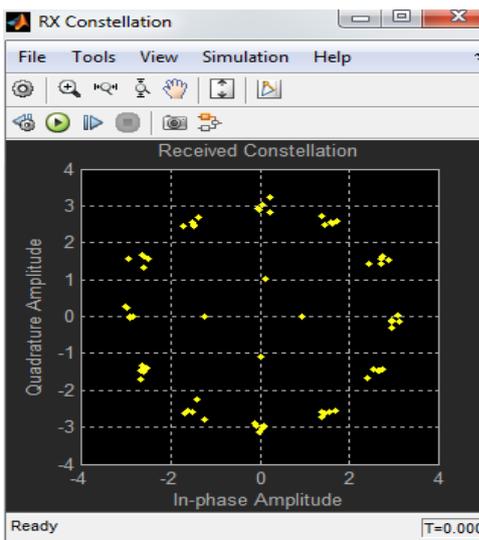
Figura 4.10: Diagrama de Constelación I / Q en canal AWGN con igual SNR, para varios tipos de modulaciones en el sistema DVB-S2 de televisión satelital: a) SNR=15.01 dB (para QPSK), b) SNR=15.06 dB (para 8-PSK), c) SNR=15.3dB (para 16-APSK) y d) SNR= 15.46dB (para 32-APSK)



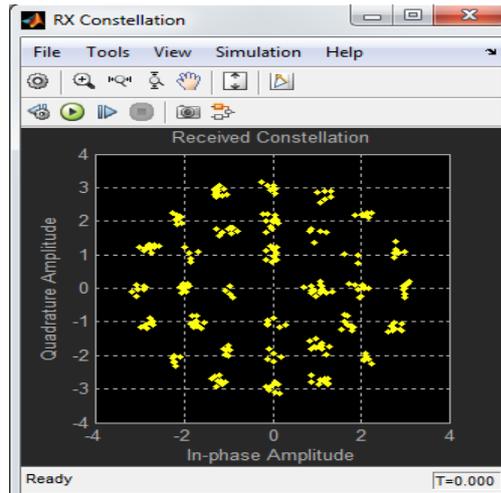
a) Canal AWGN para SNR=15.01dB



b) Canal AWGN para SNR=15.06Db



c) Canal AWGN para SNR=15.3dB



d) Canal AWGN para SNR=15.46dB

Diagrama de constelación de las modulaciones: a) QPSK, b) 8-PSK, c) 16-APSK y d) 32-APSK, Luis Guerra

#### 4.8. Resultados de las Simulaciones de la arquitectura DVB-S2 para las modulaciones QPSK, 8-PSK, 16-APSK y 32-APSK.

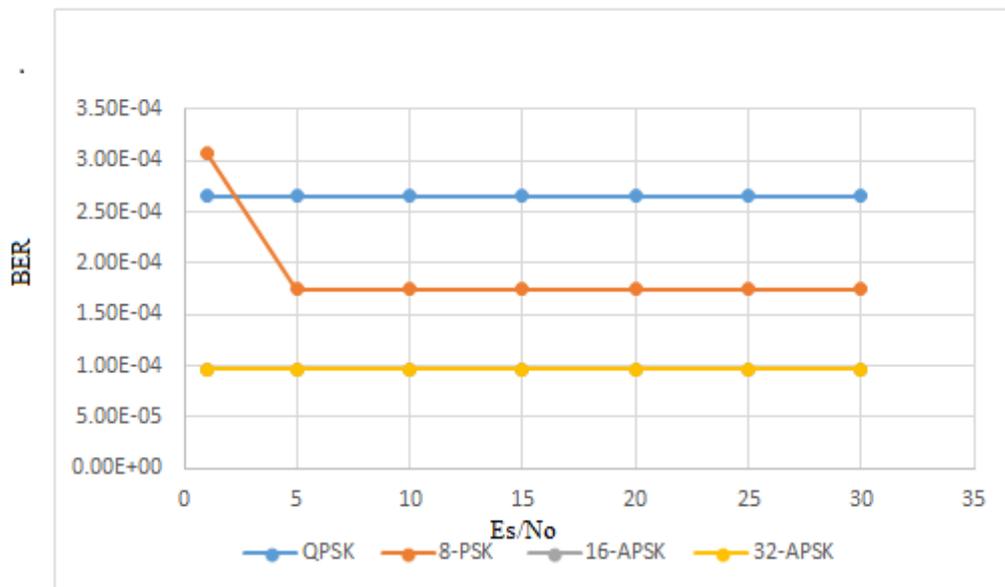
Se realizó varias simulaciones con los valores de  $E_s/N_0 = 1\text{dB}$ ,  $5\text{dB}$ ,  $10\text{dB}$ ,  $20\text{dB}$ ,  $25\text{dB}$  y  $30\text{dB}$  para cada tipo de modulación obteniendo los siguientes resultados de la simulación en el sistema del estándar DVB-S2 en el entorno Simulink con su respectivo BER (Tasa de bit errado) para cada modulación.

Tabla 4.1: Datos obtenidos de las modulaciones en la arquitectura DVB-S2

Es/No(dB)	BER			
	QPSK	8-PSK	16-APSK	32-APSK
1	2.65E-04	3.08E-04	9.67E-05	9.68E-05
5	2.65E-04	1.75E-04	9.67E-05	9.68E-05
10	2.65E-04	1.75E-04	9.67E-05	9.68E-05
15	2.65E-04	1.75E-04	9.67E-05	9.68E-05
20	2.65E-04	1.75E-04	9.67E-05	9.68E-05
25	2.65E-04	1.75E-04	9.67E-05	9.68E-05
30	2.65E-04	1.75E-04	9.67E-05	9.68E-05

Test BER vs Es/No, Luis Guerra

Figura 4.11: BER vs Es/No para diferentes modulaciones



Gráfica de comparación de las modulaciones QPSK, 8-PSK, 16-APSK y 32-APSK, Luis Guerra

La Figura 4.10 muestra la comparación de las modulaciones QPSK, 8-PSK, 16-APSK y 32-APSK con un SNR=15dB, este SNR varía dependiendo de la modulación entre 15.1dB a 15.46dB.

## CONCLUSIONES

Una vez finalizado este trabajo, se consiguió implementar un bloque de funciones por medio del software Matlab, el cual cumple con todas las características principales para el estándar DVB-S2 de televisión digital satelital, comprobando que para su funcionamiento se debieron crear un modulador y demodulador para 16-APSK/32-APSK respectivamente, que permitió determinar en qué medida mejora los parámetros del BER (Tasa de Bit Errado) y S/N (Relación señal a ruido) con la modulación APSK obteniendo así una simulación del proceso de modulación y demodulación 16APSK/32APSK en MATLAB en el entorno Simulink. El método presentado permite simular la transmisión DVB-S2, cuando se utiliza la modulación APSK en el estándar DVB-S2. Obteniendo como resultado el BER y la relación señal a ruido para el canal AWGN para varios tipos de modulaciones (BPSK, QAM, QPSK y APSK). Los resultados presentados pueden utilizarse para el análisis de distorsión del canal.

DVB-S2 permite la optimización de los datos de transmisión para cada modulación, de acuerdo a las condiciones de la simulación del estándar DVB-S2, utilizando el esquema de codificación y modulación correctas para que los parámetros de entrada de datos sean del mismo tipo (bit o integer), evitando de esta manera errores en la simulación del estándar DVB-S2.

Al analizar la estructura de la simulación del estándar DVB-S2, se concluye que DVB-S2 posee dos niveles de estructura de trama: la primera transporta pocos bits de señalización altamente protegidos a nivel de Capa Física; y la segunda transportando una variedad de bits de señalización a nivel de Banda Base, para permitir máxima flexibilidad para la adaptación a la señal de entrada.

La mejor modulación para el sistema del estándar DVB-S2 de televisión satelital es la de 32-APSK gracias a que nos ofrece un menor S/N (relación señal a ruido) la cual

es del 0.33% en comparación a las demás modulaciones y además maneja una tasa de bit errado de  $9.68 \times 10^{-5}$ .

Para la modulación QPSK se obtuvo una tasa de bit errado baja durante la transmisión de datos, pero la velocidad de transmisión es de 30Mbps mientras que la velocidad de transmisión para 32-APSK con la cual se obtuvo el mejor rendimiento del sistema del estándar DVB-S2 es de 42,5Mbps.

## RECOMENDACIONES

Para implementar el modulador y el demodulador en la modulación APSK en el estándar DVB-S2 para los laboratorios de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur es de vital importancia analizar la norma del estándar DVB-S2 para verificar las especificaciones en cuanto a la variación de las modulaciones permitidas por este sistema de televisión satelital que deben ser modificados en la arquitectura del estándar DVB-S2, los datos susceptibles a modificación pueden ser el S/N (la relación señal a ruido) y el número de iteraciones del sistema.

Se recomienda verificar el funcionamiento de la arquitectura del estándar DVB-S2 antes de cualquier otra configuración adaptativa como se indica en el desarrollo de la programación en el Anexo I, por lo cual se utilizó las modulaciones de 16APSK/32APSK en este trabajo.

Para implementar futuros trabajos empleando la arquitectura del estándar DVB-S2 se recomienda hacer un análisis para el funcionamiento del sistema con distintos tipos de modulaciones que tengan características similares o mejores a la modulación APSK que se encuentran incluidos en el Matlab function del software Matlab en el entorno Simulink.

En el desarrollo de esta simulación para el estándar DVB-S2 implementada en este proyecto, se ha comprobado la gran facilidad y versatilidad que nos ofrece Matlab y su entorno de Simulink. Estas facilidades han sido aprovechadas en la variedad de modulaciones digitales que pueden ser aplicadas al sistema de simulación del estándar DVB-S2 para el correcto desempeño de la simulación tener en cuenta que los bloques de modulador y demodulador deben tener como tipo de entrada (Bit) para cualquiera de las modulaciones antes mencionadas.

Además este proyecto puede servir de base para un software mucho más completo, tal como el desarrollo de un programa para calcular otros parámetros como el FEC, PIRE, el número de símbolos probables en el sistema DVB-S2, etc., por mencionar unos pocos.

## REFERENCIAS

- Alberto Morello and Vittoria Mignone. (2004). *Dvb-s2 ready for lift off. Technical report, RAI, Radiotelevisione*. Italia.
- Arafa, T, Sauer-Greff, W and Urbansky, R. (June 2011). *Performed of combined constellation shapping and bit interleaved coded modulation with iterative decoding, IEE transactions*.
- ETSI EN 302 307 (V 1.1.1). (Marzo, 2005) Digital Video Broadcasting (DVB): *Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcastinf, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications*.
- ETSI TR 102 376. (Febrero, 2005). Digital Video Broadcastin (DVB): *User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*.
- ETSI TRI 101 V1.1.1. ( Septiembre, 1997). *European Telecommunications Standars Intitute, Digital Video broadcasting (DVB)*.
- Fisher, W. (Berlin, 2008). *Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A practical Engineering Guide. 2nd ed.*
- Jimenez, M. S. (2013). *Comunicación Digital* . Quito: Universidad Politécnica Nacional.
- Langton, Ch. (1998-2002). *Intuitive Guide to Principles of Communications*.
- Orsys GmbH., (March 2003). *User´s Guide Micro-Line C6711CPU/C6712CPU, High Performance Digital Signal Processor Family*.
- Polák, L. (2011). *Implementation of 16APSK modulation in matlab used for the DVB-SH. University of technology, Purkynova 118, Czech Republic*.
- Rosado, C. (1998). *Comunicación por satelite. Principios, tecnologias y sistemas*. Quito.

Varsamou, M, Savvopoulos, N. (October, 2003). *From Matlab/Simulink Models to prototype Implementation: A Communication Systems Development Environment, the Nordic MatLAB conference 2003, Copenhagen, Denmark.*

## ANEXOS

## ANEXO I

### CÓDIGO EN MATLAB-FUNCTION<sup>1</sup>

#### Modulador 16-APSK

```
function mod_out = APSK_mod_in(mod_in)
coder.extrinsic('scatterplot','title','grid','axis','hold','text','d
ec2base');
SNR = 5;
Rin = 1;
Rout = 3;
p_noise = 1/(10^(SNR/10));
index = 4;
sum = 0;
mod_out =rand(16*4,1)+1i;
sum=4*Rin+12*Rout;
sum=sum/(2^index);
p_noise=p_noise*sum;
N=64;
mod_in1 = rand(1,N*index)>.5; %rand???0.5??1???0.5??0
mod_in=mod_in1(1:4:end)*8+mod_in1(2:4:end)*4+mod_in1(3:4:end)*2+mod_
in1(4:4:end); %a=1:2:10
len=length(mod_in);
mod_R = rand(len+1,1);
mod_I = mod_R;

for i=1:len
    if(i<=4)
        mod_R(i)=(2*pi/4)*i;
        mod_I(i)=Rin;
    else
        mod_R(i)=(2*pi/12)*(i-4);
        mod_I(i)=Rout;
    end
end

for i=1:len
    mod_out(i)=exp(1i*(mod_R(i)+0))*mod_I(i);
```

---

<sup>1</sup> Ing. Luis Guerman Oñate

end

## Demodulador 16-APSK

```
function mod_out=APSK_mod_de(mod_in)
len=numel(mod_in);
index = 4;
Rin = 1;
Rout = 3;
angle = rand(len+1,1);
range = angle;
mod_out2 =rand((len+1)*4,1);

for(i=1:len)
    if(real(mod_in(i))>0)
        if(imag(mod_in(i))>0)
            angle(i)=atan(imag(mod_in(i))/real(mod_in(i)));
        else
            angle(i)=atan(imag(mod_in(i))/real(mod_in(i)))+2*pi;
        end
    else
        angle(i)=atan(imag(mod_in(i))/real(mod_in(i)))+pi;
    end
    range(i)=sqrt(real(mod_in(i))^2+imag(mod_in(i))^2);
end
j=1;

for i=1:len
    if(abs(range(i))<(Rin+Rout)/2)%inside_circle
        for m=1:3
            if(angle(i)<(pi/4)||angle(i)>(7*pi/4))
                mod_out2(j)=0;
                mod_out2(j+1)=0;
                mod_out2(j+2)=0;
                mod_out2(j+3)=0;
                j=j+4;
                break;
            end
            if(angle(i)<(m*pi/2+pi/4)&&angle(i)>(m*pi/2-pi/4))
                mod_out2(j)=0;
```

```

        mod_out2(j+1)=0;
        mod_out2(j+2)=fix(m/2);
        mod_out2(j+3)=fix(mod(m,2));
        j=j+4;
        break;
    end
end
else%outside_circle
    for m=5:15
        if (angle(i)<(pi/12) || angle(i)>(23*pi/12))
            mod_out2(j)=0;
            mod_out2(j+1)=1;
            mod_out2(j+2)=0;
            mod_out2(j+3)=0;
            j=j+4;
            break;
        end
        if (angle(i)<((m-4)*pi/6+pi/12) && angle(i)>((m-4)*pi/6-
pi/12))
            mod_out2(j)=fix(m/8);
            mod_out2(j+1)=fix(mod(m,8)/4);
            mod_out2(j+2)=fix(mod(m,4)/2);
            mod_out2(j+3)=fix(mod(m,2));
            j=j+4;
            break;
        end
    end
end
end

mod_out3=mod_out2(1:4:end)*8+mod_out2(2:4:end)*4+mod_out2(3:4:end)*2
+mod_out2(4:4:end);
    mod_out=mod_out3(1:end-1);
end

```

## Modulador 32-APSK

```
function mod_out = APSK_mod_in(mod_in)
coder.extrinsic('scatterplot','title','grid','axis','hold','text','dec2base');

SNR = 5;
Rin = 1;
Rmid= 2;
Rout = 3;
p_noise = 1/(10^(SNR/10));
index = 5;

sum=0;
mod_out =rand(16*16,1)+1i;
    sum=4*Rin+12*Rmid+16*Rout;
    sum=sum/(2^index);
    p_noise=p_noise*sum;
    N=256;
    mod_in1 = rand(1,N*index)>.5;

mod_in=mod_in1(1:5:end)*16+mod_in1(2:5:end)*8+mod_in1(3:5:end)*4+mod_in1(4:5:end)*2+mod_in1(5:5:end);
len=length(mod_in);
mod_R = rand(len+1,1);
mod_I = mod_R;

for i=1:len
    if( mod_in(i)<4)
        mod_R(i)=(2*pi/4)*mod_in(i);mod_I(i)=Rin;
    elseif( mod_in(i)>15)
        mod_R(i)=(2*pi/16)*(mod_in(i)-16);mod_I(i)=Rout;
    else
        mod_R(i)=(2*pi/12)*(mod_in(i)-4);mod_I(i)=Rmid;
    end
end

for i=1:len
    mod_out(i)=exp(j*mod_R(i))*mod_I(i);
end
```

## Demodulador 32-APSK

```
function mod_out=APSK_mod_de(mod_in)
len=numel(mod_in);
index = 5;
Rin = 1;
Rmid= 2;
Rout = 3;
angle = rand(len+1,1);
range = angle;
mod_out2 =rand((len+1)*5,1);

for(i=1:len)
    if(real(mod_in(i))>0)
        if(imag(mod_in(i))>0)
            angle(i)=atan(imag(mod_in(i))/real(mod_in(i)));
        else
            angle(i)=atan(imag(mod_in(i))/real(mod_in(i)))+2*pi;
        end
    else
        angle(i)=atan(imag(mod_in(i))/real(mod_in(i)))+pi;
    end
    range(i)=sqrt(real(mod_in(i))^2+imag(mod_in(i))^2);
end
j=1;

for i=1:len
    if(abs(range(i))<(Rin+Rmid)/2)%inside_circle
        for m=1:3
            if(angle(i)<(pi/4)||angle(i)>(7*pi/4))
                mod_out2(j)=0;
                mod_out2(j+1)=0;
                mod_out2(j+2)=0;
                mod_out2(j+3)=0;
                mod_out2(j+4)=0;
                j=j+5;
                break;
            end
            if(angle(i)<(m*pi/2+pi/4)&&angle(i)>(m*pi/2-pi/4))
```

```

        mod_out2(j)=0;
        mod_out2(j+1)=0;
        mod_out2(j+2)=0;
        mod_out2(j+3)=fix(m/2);
        mod_out2(j+4)=fix(mod(m,2));
        j=j+5;
        break;
    end
end
elseif(abs(range(i))>(Rmid+Rout)/2)%outside_circle
    for m=17:31
        if(angle(i)<(pi/16)||angle(i)>(31*pi/16))
            mod_out2(j)=1;
            mod_out2(j+1)=0;
            mod_out2(j+2)=0;
            mod_out2(j+3)=0;
            mod_out2(j+4)=0;
            j=j+5;
            break;
        end
        if(angle(i)<((m-16)*pi/8+pi/16)&&angle(i)>((m-16)*pi/8-
pi/16))
            mod_out2(j)=fix(m/16);
            mod_out2(j+1)=fix(mod(m,16)/8);
            mod_out2(j+2)=fix(mod(m,8)/4);
            mod_out2(j+3)=fix(mod(m,4)/2);
            mod_out2(j+4)=fix(mod(m,2));
            j=j+5;
            break;
        end
    end
end
else%middle_circle
    for m=5:15
        if(angle(i)<(pi/12)||angle(i)>(23*pi/12))
            mod_out2(j)=0;
            mod_out2(j+1)=0;
            mod_out2(j+2)=1;
            mod_out2(j+3)=0;
            mod_out2(j+4)=0;
            j=j+5;
        end
    end
end

```

```

        break;
    end
    if (angle(i) < ((m-4)*pi/6+pi/12) && angle(i) > ((m-4)*pi/6-
pi/12))
        mod_out2(j)=0;
        mod_out2(j+1)=fix(m/8);
        mod_out2(j+2)=fix(mod(m,8)/4);
        mod_out2(j+3)=fix(mod(m,4)/2);
        mod_out2(j+4)=fix(mod(m,2));
        j=j+5;
        break;
    end
end
end

mod_out3=mod_out2(1:5:end)*16+mod_out2(2:5:end)*8+mod_out2(3:5:end)*
4+mod_out2(4:5:end)*2+mod_out2(5:5:end);
mod_out=mod_out3(1:end-1);
end

```