

ANEXO A
ESTÁNDAR CCSDS

ESTÁNDAR CCSDS

1. EL COMITÉ CONSULTIVO DE SISTEMAS DE DATOS ESPACIALES (CCSDS)

Entre los estándares y normativas del comité consultivo de sistemas de datos espaciales (CCSDS) que hablan acerca de la telemetría se encuentran:

1.1 Estándar ccsds 401.0-b: sistemas de radiofrecuencia y modulación/ estaciones terrenas y espacios

En este estándar se habla acerca de sistemas de radiofrecuencia y modulación para estaciones terrenas y para naves espaciales, además del envío de datos de los satélites. Cabe destacar que este estándar no proporciona un diseño específico, sino recomendaciones en características técnicas específicas. Estas recomendaciones se dividen en: radiofrecuencia tierra-espacio, telecomando, radiofrecuencia espacio-tierra, telemetría, radio métrico y astronave.

El resumen de las recomendaciones RF *espacio-tierra* es la siguiente:

TABLA A.1: RECOMENDACIONES RF ESPACIO-TIERRA DE ESTANDAR CCSDS 401.0-B, Fuente [19], Pág. (28).

Características de la recomendación	Resumen de la recomendación
Portadoras residual	Utilizar sistemas de telemetría de baja velocidad binaria
portadoras suprimidos	Utilizar portadoras transmitidas cuando se exceden los límites de

	PFD
± 150 kHz; ± 600 kHz; ± 1800 kHz	Mis. de Cat. A rango de barrido de a adquisición a 2, 8 y 26 GHz.
± 300 kHz, ± 1 MHz, ± 4 MHz	Mis. de Cat. B rango de barrido de a adquisición a 2, 8 y 32 GHz.
100 Hz/s \leq 200 kHz/s	Mis. de Cat. A rango de barrido de a adquisición a 2, 8 y 26 GHz
1 Hz/s \leq 10 kHz/s	Mis. de Cat. B rango de barrido de a adquisición a 2, 8 y 32 GHz
RCP or LCP	Polarización del enlace espacio a Tierra.
Pos Voltage \rightarrow Pos cambio de fase	Tensión de entrada del modulador al cambio de fase de la portadora.
$\pm 5 \times 10^{-13}$ ($0.2 \leq s \leq 100$)	Mínima estabilidad de frecuencia referente a la estación terrena
10 dB Sinusoidal; 15 dB cuadrada	Máxima portadora suprimida resultante de todas las señales.

El resumen de la recomendación de la telemetría:

**TABLA A.2: LA RECOMENDACIÓN DE LA TELEMETRÍA ESTANDAR
CCSDS 401.0-B, Fuente [19], Pág. (29).**

Características de la recomendación	Resumen de la recomendación
Modulación NRZ-M (DNRZ)	Usado con sistemas con portadora suprimida
Subportadoras	Usado con subsistemas de portadora residual de muy baja tasa
± 200 ppm; $\pm 1 \times 10^{-6}$; $\pm 2 \times 10^{-5}$	Offset de la frecuencia de subportadoras y estabilidades
NRZ-L; bi-fase-L	Elección de forma de ondas PCM para sistemas de portadoras residuales.

0.2 %	Asimetría máxima de símbolos en la entrada del modulador RF.
64; 125/1000; 275/1000	Misión categoría A y B densidad de transmisión de símbolos
00=0°; 01=90°; 11=180°; 10=270°	Convenciones de codificación de canales para sistemas QPSK.
Ambigüedad de fase en sistemas QPSK	Utilizar el marcador de sincronización para resolver.
5 grados; 0.5 dB	En misiones de cat. A max amplitud y fase en BPSK/ (O)QPSK/GMSK
5 grados; 0.5 dB	En misiones de cat. B máx. amplitud y fase en BPSK/ (O)QPSK/GMSK
2 grados; 0.2 dB	Categoría B, máx. fase y amplitud modo de subportadora
4 para freq. > 60 kHz	Categoría A relación frecuencia a símbolos de subportadora
5 para freq. > 60 kHz	Categoría B relación frecuencia a símbolos de subportadora
Región de operación	Categoría A, mínima tasa de transmisión de símbolos para mod. En portadora residual en RF.
Región de operación	Categoría B, mínima tasa de transmisión de símbolos para mod. En portadora residual en RF.
≤-60 dBc	Emisión fuera de banda.
GMSK/OQPSK	Categoría A método de modulación, alta tasa de transmisión de datos
GMSK	Categoría B método de modulación, alta

	tasa de transmisión de datos
4D 8PSK TCM/GMSK/OQPSK	EES método de estabilidad, alta tasa de transmisión de datos
± 100 ppm; $\pm 1 \times 10^{-6}$; $\pm 2 \times 10^{-5}$	Máximo offset en tasa de símbolos, mínima estabilidad
GMSK (BT _s =0.5)	Categoría B método de modulación en alta tasa de transmisión de símbolos

1.1.1 Uso de las portadoras suprimidas en modulaciones (BPSK/QPSK) para el envío medio de una tasa de bits en telemetría en un enlace espacio-tierra CCSDS 401.0-B.

La organización CCSDS recomienda que se utilice la portadora suprimida en formatos de modulaciones, tales como, BPSK, QPSK y OQPSK para tasa media (≤ 2 Ms/s), en enlaces Espacio-Tierra, siempre que sea posible y en cualquier caso cuando un sistema portador residual exceda los límites de PFD en la superficie de la Tierra. Además se recomienda la utilización de datos aleatorios, sincronización TM y codificación del canal.

1.2 Polarización de enlaces espacio-a-tierra.

Tomando en cuenta que la polarización lineal del campo eléctrico son los patrones utilizados en antenas casi omnidireccionales y que puede variar mucho con respecto al ángulo de la estación terrena y en casos como en satélites geoestacionarios, en donde sus antenas siempre están apuntando a la estación terrena, los efectos de propagación tales como los de rotación de Faraday son causante de cambios en la polarización recibidas de portadoras inferiores, además de que el sistema de TT&C ubicado en los satélites utiliza antenas de polarización circular. Por este motivo la organización CCSDS recomienda polarización LCP o RCP en sistemas de TT&C en los satélites e enlaces espacio-tierra, a menos que el enlace requiera de una polarización diferente.

1.2.1 Portadora suprimida en RF para enlaces espacio-tierra por sistemas de portadora residual.

Considerando que el alto índice de modulación puede hacer difícil detectar la portadora suprimida con un receptor de bucle con bloqueo de fase, además que para la modulación sinusoidal, la portadora suprimida no debe de exceder los 10dB debido a que de lo contrario la potencia recuperable disminuiría. Tomando en consideración también que en la modulación de onda cuadrada el aumento portadora suprimida por encima de 10 dB puede mejorar el rendimiento en el canal de datos siempre que las pérdidas adicionales de demodulación resultantes de la potencia de portadora reducida, son menores que el aumento de potencia de datos resultante.

Por este motivo la organización CCSDS recomienda que en la modulación sinusoidal la potencia de la portadora suprimida no debiera exceder los 10 dB. Además que para la modulación de onda cuadrada, la portadora suprimida puede exceder los 10 dB siempre que la relación señal / ruido del bucle de seguimiento de la portadora permanezca por encima de 15 dB.

1.3 Subportadoras en sistemas de baja tasa de bits en telemetría con portadoras residuales.

Tomando en consideración que a velocidades de bits baja, la iteración entre las bandas laterales de datos y la portadora residual en RF causa una desmejora en el rendimiento. Además que para misiones de categoría A es más importante delimitar el ancho de banda mientras que en las de categoría B es más importante minimizar la susceptibilidad de la interferencia dentro de la banda. Por este motivo la CCSDS limita el uso de las subportadoras en casos justificados por razones técnicas, es decir, transmisiones de tasa de bits o ciencias de la radio. Además recomienda el uso de la modulación PSK para estas subportadoras, para la transmisión de telemetría de misiones de Categoría A, la CCSDS utilizan subportadoras en ondas sinodales. Y que

para las transmisiones de telemetría de misiones de categoría B, las agencias CCSDS utilizan subportadoras en ondas cuadradas.

1.3.1 Subportadoras en telemetría y estabilidad de frecuencia en sistemas de portadora residual en la telemetría.

Teniendo en consideración varias especificaciones, tales como, que los transpondedores pueden derivar la frecuencia de la subportadora desde un oscilador o un NCO, si utilizan procesamiento digital, además que la resolución de la frecuencia de subportadora NCO, si se utiliza, determina la estabilidad de la frecuencia de la subportadora y puede ser tan grande como 1 Hz; que la estabilidad de la frecuencia de la subportadora de corto plazo debe ser menor que la del ancho de banda del bucle de seguimiento de la subportadora del receptor de la estación terrena; que los receptores de estaciones terrenas pueden tener anchos de banda de bucle de seguimiento de subportadora tan bajos como 100 mHz usando procesamiento digital; Además se toma en consideración que la estabilidad de la frecuencia mínima a largo plazo encontrada en la referencia de la nave espacial de categoría A son osciladores de frecuencia de $\pm 20\text{ppm}$ aproximadamente y que la estabilidad de la frecuencia mínima a largo plazo encontrada en los osciladores de frecuencia de referencia de la nave de la categoría B es aproximadamente $\pm 1\text{ ppm}$.

De esta forma la organización CCSDS recomienda que los subsistemas de radiofrecuencia de naves espaciales que generen subportadoras de telemetría estén diseñados con características iguales o mejores que:

- Offset máximo de la frecuencia de la subportadora de $\pm 200\text{ ppm}$
- Frecuencia mínima de estabilidad de subportadora de $\pm 1 \times 10^{-6}$ (Los intervalos de tiempo a corto plazo son menores o iguales, 100 veces el período de la forma de onda de la subportadora)

- Frecuencia mínima de estabilidad de subportadora $\pm 2 \times 10^{-5}$ (estabilidad durante 5 minutos)

1.4 Elección de las ondas de PCM en sistemas de portadoras residuales en la telemetría.

Tomando en cuenta que las formas de onda NRZ se basan por completo en las transiciones de datos para la recuperación de símbolos con el reloj, pero esta recuperación se vuelve un problema a no ser que se pueda garantizar una densidad de transición adecuada. Además de que debido a la presencia de transiciones de medio-bit, las formas de onda bi-fase-L proporcionan mejores características para puentear periodos prolongados de símbolos idénticos después de la adquisición inicial. También se toma en consideración que la convolución de datos codificados tiene suficientes transiciones de datos para asegurar la recuperación de símbolos de reloj de acuerdo con las recomendaciones dadas por CCSDS. También la CCSDS toma en consideración: que con la modulación de subportadora PSK coherente es posible mediante la implementación de un hardware adecuado, puentear periodos prolongados de símbolos idénticos incluso cuando se usan formas de onda NRZ; que es deseable evitar la conmutación innecesaria en el nodo de decodificación por sincronización de trama antes de la decodificación de la convolución.

Por estos motivos la CCSDS recomienda lo siguiente: Que para esquemas de modulación que utilicen subportadoras, la relación subportadora a tasa de bits deba ser un número entero, que en casos en los que se empleen una subportadora se debe utilizar código NRZ-L y para esquemas de modulación directa que tienen una portadora residual sólo deben usarse la forma de onda bifásica-L.

1.5 Densidad mínima de transmisión de símbolos modulados en el enlace espacio-Tierra.

Tomando en consideración que los sistemas de recuperación de símbolos de reloj normalmente se extraen a la frecuencia de éste, a partir de los símbolos recibidos, además teniendo en cuenta que un desbalance entre unos y ceros podría causar un resultado con una menor cantidad de tasa de error de bits en el proceso de detección de símbolos, también que los códigos de NRZ son ampliamente utilizados en sistemas de modulación estándar, y requieren suficientes transiciones de símbolos para la recuperación del reloj. También se nota que el ancho de banda del bucle de seguimiento es normalmente menor o igual al 1% de la velocidad del símbolo. Y por último se observa que para la categoría A, la disminución especificada en la tasa de errores de bits es debido al error de sincronización de símbolos que suele ser inferior a 0.3 dB, para la categoría B, la disminución especificada a la tasa de errores de bits es debido a que el error de sincronización de símbolos suele ser inferior a 0.1 dB, las transiciones de símbolos no son una condición suficiente para asegurar una condición de bloqueo estable y para esto se utilizan pseudo-aleatorio para mejorar esta condición.

Por estas razones la CCSDS recomienda que la cadena máxima de unos y ceros sea de 64 bits, que para la categoría A, se produzcan un mínimo de 125 transiciones en cualquier secuencia de 1000 símbolos consecutivos, para la categoría B recomienda que se produzca un mínimo de 275 transiciones en cualquier secuencia de 1000 símbolos consecutivos.

1.6 Máximo permitido de desbalances en fase y amplitud por portadoras suprimidas en moduladores RF (BPSK/QPSK/GMSK) en enlaces espacio-Tierra, categoría A.

Tomando en cuenta que la CCSDS recomienda la modulación de la portadora suprimida (PSK) para transmisiones de telemetría de naves espaciales en

las bandas de 2 y 8 GHz cuando la modulación de portadora residual excedería los límites de PFD en la superficie de la Tierra, además que las modificaciones OQPSK filtradas y GMSK son recomendadas por el CCSDS para la telemetría de alta velocidad en las bandas de categoría A de 2 y 8 GHz y por CCSDS banda de 8 GHz del SETS, además se toma en consideración que un desequilibrio de fase de menos de 5° y un desequilibrio de amplitud de menos de 5dB debería resultar en una disminución en el desempeño aceptable para las misiones cercanas a la tierra. Y que la pendiente máxima permitida en AM/PM para el amplificador no lineal es típicamente menor que $3,5^\circ/\text{dB}$.

Por estos motivos la CCSDS recomienda que el desequilibrio de fase del modulador no debe exceder los 5° y el desequilibrio de amplitud no exceda los 0.5dB entre los puntos de constelación de un sistema de modulación RF de portadora suprimida que utiliza BPSK, QPSK, OQPSK filtrado o GMSK ($BT_s=0.25$).

1.6.1 Máximo permitido de desbalances en fase y amplitud por portadoras suprimidas en moduladores RF (BPSK/QPSK/GMSK) en enlaces espacio-Tierra, categoría B

Considerando que el CCSDS recomienda la modulación de la portadora suprimida (PSK) para las transmisiones de telemetría de naves espaciales en las bandas de la categoría B de 2 y 8 GHz; que la pulsación mínima de cambio Gaussiana recomendada por CCSDS es de $BT_s= 0.5$ para telemetría a altas velocidades en las bandas de 2 y 8 GHz en la categoría B, que para una modulación en cuadratura en donde la cual la velocidad de datos y la potencia son iguales para los canales de Fase (I) y en cuadratura (Q), y produce desbalance de fase provocado por una desviación de la separación ideal de 90° que ocurre cuando existe un desplazamiento de fase en el transmisor y/o el receptor y no funciona en la zona lineal. Y por último se toma en consideración que para una modulación balanceada en cuadratura, los desbalances entre fase y amplitud en la modulación de portadora

RF, causan un desequilibrio de fase entre los canales, que causan una comunicación cruzada entre estos, debido a un fallo de mantenimiento de la ortogonalidad entre canales o seguimiento de portador imperfecto perjudicial para el rendimiento del sistema.

Por estos motivos la CCSDS recomienda que el desequilibrio de fase del modulador no exceda los 5° y el desequilibrio de amplitud no exceda de 0.5dB entre los puntos de la constelación en sistemas de portadoras suprimidas utilizando BPSK, OPS, QPSK o GMSK ($BT_s=0.5$).

1.7 Valores admisibles para Telemetría para frecuencia a índice de tasa de símbolos para modulación en PCM/PSK/PM en las bandas 2 y 8 GHz, categoría A.

Tomando en consideración que para las misiones de categoría A se utiliza típicamente un esquema de modulación PCM/PSK/PM con una subportadora de onda senoidal para la transmisión de datos a velocidades bajas, que la relación de frecuencia de subportadoras y un número entero de símbolos tienen como resultado una densidad espectral mínimo de datos alrededor de la frecuencia portadora, que la relación de frecuencia de subportadora a símbolo debe ser minimizada para evitar la ocupación innecesaria en el espectro de frecuencia. Que el valor práctico más bajo de símbolos enteros puede determinarse por la interferencia aceptada en el espectro de datos (I) y en el bucle de seguimiento del portador (BL). También se observa que para misiones de categoría A, no se sobrepasará una degradación de 0.3dB en el proceso de detección de símbolos, lo que requiere una relación portador/ruido (C/N) de 15 dB en el bucle de seguimiento de portadoras cuando se utilicen esquemas de codificación contenido en el CCSDS, cualquier degradación adicional debido a la interferencia de datos en el bucle de seguimiento de portadora será insignificante para la cual una relación de C/N superior a 20 dB se considera adecuada. Además que en presencia de una sola señal de telemetría, un pequeño valor de símbolos ($n=4$) es

generalmente suficiente para obtener el rendimiento requerido en condiciones de funcionamiento típicas para frecuencia de subportadoras por encima de los 60 kHz.

La CCSDS recomienda que la relación frecuencia a símbolo sea un valor entero, que se seleccione un índice de tasa de frecuencia a símbolo en una subportadora de 4 para frecuencia de subportadoras por encima de 60 kHz. Y por último recomienda que, en el caso de superposiciones espectrales con otras componentes de señal, se seleccione el valor entero mínimo de n para permitir una degradación no superior a 0,3 dB en el proceso de detección de símbolos.

1.7.1 Valores admisibles para Telemetría para frecuencia a índice de tasa de símbolos para modulación en PCM/PSK/PM en las bandas 2 y 8 GHz, categoría B.

Tomando en consideración que para las misiones de categoría A se utiliza típicamente un esquema de modulación PCM/PSK/PM con una subportadora de onda cuadrada para la transmisión de datos a velocidades bajas, que la relación de frecuencia de subportadoras y un número entero de símbolos tienen como resultado una densidad espectral mínimo de datos alrededor de la frecuencia portadora, que la relación de frecuencia de subportadora a símbolo debe ser minimizada para evitar la ocupación innecesaria en el espectro de frecuencia. Que el valor práctico más bajo de símbolos enteros puede determinarse por la interferencia aceptada en el espectro de datos (I) y en el bucle de seguimiento del portador (BL). También se observa que para misiones de categoría A, no se sobrepasará una degradación de 0.1 dB en el proceso de detección de símbolos, lo que requiere una relación portador/ruido (C/N) de 18 dB en el bucle de seguimiento de portadoras cuando se utilicen esquemas de codificación contenido en el CCSDS, cualquier degradación adicional debido a la interferencia de datos en el bucle de seguimiento de portadora será insignificante para la cual una relación de C/N superior a 25 dB se considera adecuada. Además que en presencia de una sola señal de telemetría, un pequeño valor de símbolos ($n=5$) es

generalmente suficiente para obtener el rendimiento requerido en condiciones de funcionamiento típicas para frecuencia de subportadoras por encima de los 60 kHz.

La CCSDS recomienda que la relación frecuencia a símbolo sea un valor entero, que se seleccione un índice de tasa de frecuencia a símbolo en una subportadora de 4 para frecuencia de subportadoras por encima de 60 kHz sin exceder los 300 kHz. Y por último recomienda que, en el caso de superposiciones espectrales con otras componentes de señal, se seleccione el valor entero mínimo de n para permitir una degradación no superior a 0,1 dB en el proceso de detección de símbolos.

1.7.2 Métodos de modulación para transmisión de altas tasas de símbolos en la investigación espacial, espacio-Tierra. Categoría A.

Tomando en consideración que el uso eficiente del espectro RF muy importante debido a la creciente congestión de las bandas de frecuencias, que las técnicas de modulación de portadoras suprimidas, tales como las modulaciones OQPSK filtradas en banda base y GMSK, pueden satisfacer la recomendación de máscara de espectro SFCG para los enlaces espacio-tierra de categoría A para investigación espacial con velocidades de símbolos superiores a 2 Ms/s, además que para la modulación GMSK es inherentemente de naturaleza diferencial, el uso de la modulación GMSK con la precodificación es necesaria para optimizar el rendimiento de la tasa de bits errados. También se observa que existen tipos de modulación filtrados OQPSK en banda base y GMSK que pueden ser desmodulados utilizando un receptor OQPSK convencional, pero con pérdidas de extremo a extremo diferentes, las modulaciones OQPSK filtradas en banda base y GMSK tienen sólo una pequeña disminución de rendimiento en comparación con sistemas de portadores suprimidos con filtros no ideales. Por último se toma en cuenta que las modulaciones OQPSK filtradas en banda base y GMSK tienen inmunidad a interferencias (banda ancha y banda estrecha) comparado con BPSK no filtrados cuando se desmodulan con un

receptor OQPSK junto con una forma de onda OQPSK no filtrado. La inmunidad a interferencias de estas modulaciones cuando se desmodula con receptores de filtros adaptados es equivalente o mejor que con BPSK.

Por estas razones se recomienda que, para cumplir con la Recomendación de la SFCG y para garantizar la capacidad de obtener apoyo cruzado en determinadas bandas del servicio de investigación espacial, se debe utilizar GMSK o OQPSK filtrado en banda de base para las transmisiones de espacio a Tierra cuando las tasas de símbolos de datos de telemetría exceden 2 ms / s.

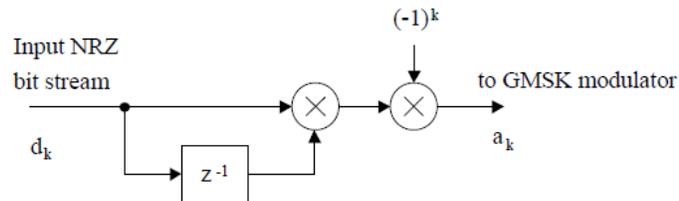


Figura a.1: esquema gmsk categoría a de ESTANDAR “CCSDS 401.0-B, Fuente [19], Pág. (90).

1.7.3 Métodos de modulación para transmisión de altas tasas de símbolos en la investigación espacial, espacio-Tierra. Categoría B.

Tomando en consideración que la SFCG ha aprobado una recomendación en cuando a la utilización eficiente del espectro que especifica las directrices de ancho de banda máximo permitido basadas en la tasa de símbolos para las emisiones de la banda de investigación espacial de categoría B, a una frecuencia de 8 GHz. Además de que la asignación de frecuencias a 2 GHz de categoría B para la investigación espacial es de 10 MHz, requiriendo que los usuarios compartan una alta tasa de símbolos para que la banda sea espectralmente eficiente. Además se toma en cuenta que en la investigación espacial se usa como límite para a la alta tasa de símbolos 2Ms/s en categoría B en transmisiones espacio-tierra en las bandas de 2 y 8 GHz, que

GMSK es una modulación espectralmente eficaz con muy pocas pérdidas de extremo a extremo utilizando un receptor optimizado, además es necesaria la pre-codificación para optimizar el rendimiento de la tasa de bits errados. Y por último que los patrones de datos periódicos cortos pueden dar como resultado potencia cero a la frecuencia portadora.

Por este motivo la CCSDS recomienda que se utilice la GMSK para transmisiones de datos a alta velocidad siempre que sea posible y en cualquier caso, para velocidades superiores a 2 Ms/s en sistemas de comunicaciones que funcionen en la banda de 2 ó 8 GHz. Que las misiones de categoría B que requieren mucho ancho de banda de transmisión (B25), superior al recomendado por la SFCG en la banda 8 GHz, utilicen en su lugar la banda 31,8-32,3 GHz.

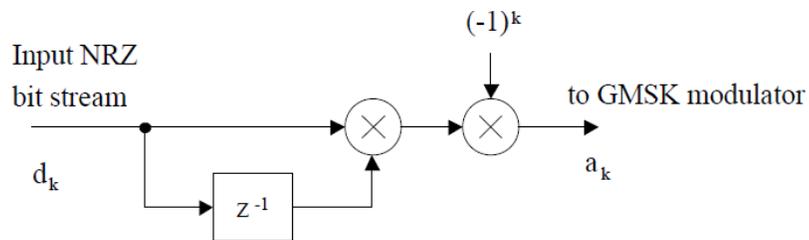


Figura a.2: esquema gmsk categoría b de estándar “CCSDS 401.0-B, Fuente [19],

Pág. (92).

1.8 Estabilidad de la tasa de telemetría en sistemas de soporte de telemetría.

Se considera la recomendación de CCSDS 401.0 en cuanto al uso de esquemas de modulación de portadora suprimida en enlaces RF espacio- Tierra, y que los desplazamientos de velocidad de símbolos pueden dar como resultado la disminución del rendimiento de modulación en la estación receptora.

Por esto la CCSDS recomienda que los subsistemas de radiofrecuencia de naves espaciales que utilicen modulación de portadora suprimida y estén diseñados con características iguales o mejores que:

TABLA N°A.3: ESTABILIDAD DE LA TASA DE TELEMETRÍA EN SISTEMAS DE SOPORTE DE TELEMETRÍA, Fuente[19], pág, (104)

Desviación máxima de la tasa de símbolos	± 100 ppm
Estabilidad mínima de la tasa de símbolos (corto plazo)	$\pm 1 \times 10^{-6}$
Estabilidad mínima de la tasa de símbolos (largo plazo)	$\pm 1 \times 10^{-5}$

1.8.1 Métodos de modulación para la transmisión de alta tasa de símbolos para la banda de 31.8-32.3 GHz, para investigación espacial, y enlaces espacio-Tierra en Categoría B.

Tomando en cuenta que se espera que la banda de 32 GHz se convierta en la columna vertebral de las comunicaciones con misiones de categoría B de alta categoría, que la asignación de frecuencia de 8 GHz es de 50 Mhz con misiones que requieran tasa de símbolos superior a 2 ms/s para que se pueda utilizar una modulación espectralmente eficaz, además que la asignación de las frecuencias para la investigación espacial, de categoría B de 32 GHz es de 500 MHz, por lo que 20 ms/s sería el valor correspondiente a esta banda. Además se toma en consideración que la modulación GMSK es de naturaleza diferencial, utilizando esta modulación con una precodificación para optimizar el rendimiento de la tasa de bits errados.

De este modo la CCSDS recomienda que se utilice GMSK (BTs=0.5) para transmisiones de alta velocidad de datos siempre que sea posible en tasa de símbolos

inferiores a 20 Ms/s, y en sistemas de comunicaciones con tasas superiores o iguales a 20 Ms/s se utilizan bandas de 32 GHz

1.9 Utilización eficaz de las bandas de 2 GHz para el funcionamiento espacial.

La CCSDS antes de dar las recomendaciones toma en observación que las bandas de frecuencias 2025-2110 y 2200-2290 MHz son compartidas conjuntamente por los servicios de investigación espacial, operación espacial y exploración terrestre por satélite. Que las bandas asignadas al servicio de operación espacial pueden utilizarse para el seguimiento espacial, la telemetría y telecomunicación (TTC), además toma en consideración que la definición del servicio de operación espacial (ITU-RR-1.23), la cual postula que las actividades de TTC se llevan a cabo en sus bandas de servicio, y por último que las bandas 2025-2110 y 2200-2290 MHz que ya están densamente ocupadas son de importancia primordial para las misiones de ciencias espaciales.

Por estos motivos la CCSDS recomienda observar las siguientes limitaciones técnicas con el fin de aprovechar al máximo estas bandas para misiones de todo tipo por satélites lo siguiente: los sistemas espaciales geoestacionarios para servicios de ciencias espaciales están diseñados para funcionar en las bandas de 2025-2110 y 2200-2290 MHz, pero dentro de estas bandas se utilizan el sistema de TTC, lo cual limita estos sistemas a un solo par de frecuencias por satélite para tema de lanzamiento, puesta en órbita y operaciones de emergencia, por este motivo los sistemas de TTC para satélites geoestacionarios deben diseñarse de acuerdo con las características de la siguiente tabla:

TABLA N° A.4: TÍPICOS PARÁMETROS PARA UN SISTEMA DE
OPERACIÓN DE ESPACIO EN SATÉLITES GEOESTACIONARIOS EN 2
GHZ. Fuente[19], pág, (140)

MODE	SYSTEM PARAMETERS	
Reception at Earth station	Telemetry bandwidth	100 kHz
	Tracking bandwidth	400 kHz
	G/T, Earth stations	20 dB/K
Transmission from Earth stations	Telecommand bandwidth	100 kHz
	Tracking bandwidth	400 kHz
	EIRP, Earth station	65 dBW

1.10 Formas de onda de la modulación para la óptima medición de ranging, telecomando y operaciones de telemetría.

Teniendo en cuenta que las transmisiones bidireccionales se emplean para la medición a una nave espacial, que las señales de telemando y telemetría están desfasadas en las subportadoras y luego moduladas en fase sobre una portadora RF residual sinusoidal, que las señales de telemetría también pueden ser moduladas directamente en la portadora RF, además de que se recomiendan las subportadoras de onda sinusoidal para el canal de telemando y también para telemetría en las misiones de categoría A y para telemetría en misiones de categoría B se recomiendan subportadoras de onda cuadrada. Teniendo en consideración que en la telemetría en el enlace espacio-Tierra el rendimiento puede disminuir debido a las interferencias causadas por el enlace ascendente, por telecomando y componentes de modulación cruzada y ruido. Que debido a la compensación de tiempo debido a diferentes relojes entre el telemando y la telemetría causa un aumento en la tasa de bits errados (BER) en la telemetría, que el uso de onda cuadrada hace el funcionamiento del VER de la telemetría más susceptible a interferencia de datos (resultante de la compensación de tiempos debido a diferentes relojes entre telemando y telemetría) que en la utilización de onda sinusoidal. Para las misiones de categoría A, el rendimiento del VER de la

telemetría es sensible al desplazamiento de la sincronización cuando se acciona simultáneamente con una señal de alcance cuadrada o senoidal, para las misiones de categoría B es importante minimizar el nivel de potencia transmitida en el enlace espacio-Tierra, que para las misiones de categoría A es necesario minimizar la interferencia de los canales adyacentes, y por último se toma en cuenta que el uso de una señal de onda sinodal minimiza el ancho de banda ocupado.

De esta manera la CCSDS recomienda que para misiones de categoría B, los enlaces espacio-tierra, ya sea el uso de onda cuadrada o sinusoidal, la señal de alcance pueda ser utilizada cuando se opera simultáneamente con la señal de telecomando, que para las misiones de categoría A y B, en los enlaces espacio-Tierra, el rango de onda sinusoidal se utilice cuando se opere simultáneamente con la telemetría.

1.11 Operaciones simultáneas de telecomando, telemetría y ranging.

Considerando que la mayoría de las agencias espaciales utilizan mediciones de alcance para la puesta en órbita de la nave espacial o determinación de la trayectoria, y frecuentemente requieren de medidas de precisión para cumplir con objetivos específicos de la misión, además de que los datos de alcance pueden proporcionar información científica sobre el medio y otros fenómenos físicos para exactitud de la misión. Además se tiene en cuenta que las transmisiones de datos de telemetría son generalmente continuas y una interrupción puede causar pérdidas de datos valiosos.

Por este motivo todas las agencias de CCSDS diseñan sus naves espaciales para permitir servicios de telecomando, telemetría y ranging simultáneos.

1.11.1 Selección de óptimos índices de modulación para operaciones simultáneas de Ranging, Telecomando y Telemetría.

Considerando que en la compensación de tiempo debida a los relojes asincrónicos entre telemando y telemetría si las subportadoras no están suficientemente separadas en frecuencia pueden causar una grave degradación de la tasa de bits errados, que en la disminución del rendimiento en telemando y telemetría pueden minimizarse si se eligen adecuadamente los índices de modulación para telemando, ranging y telemetría. Además se toma en cuenta que el receptor de alcance no suele ser susceptible a la interferencia de emisiones no deseadas que caen fuera del ancho de banda del receptor, que los índices de modulación seleccionados proporcionarán la división de potencia óptima entre los datos (telemando / telemetría), además que los índices de modulación seleccionados resultaran en la potencia adecuada para el seguimiento del portador sin desmejorar el rendimiento del canal de datos, además de que proporcionará los márgenes de rendimiento de enlaces requeridos para señales portadoras, de alcance y de datos y los canales de alcance para una precisión de alcance requerida y una degradación de tasa de errores de bits especificada en el canal de datos.

1.12 Estándar CCSDS 131.2-b-1: codificación flexible y avanzada de esquemas de modulación para alta tasa de transmisión de telemetría.

Este estándar trata acerca de un esquema de codificación turbo en serie encadenada convocional (SCCC), del diseño apropiado de un esquema de codificación propuesto junto con una nueva estructura de trama que hace que el esquema sea más adecuado para conseguir una eficiencia espectral y una potencia significativamente alta, manteniendo al mismo tiempo la compatibilidad entre los protocolos de la capa de datos existentes. El esquema de codificación que propone y la estructura de trama asociada están diseñados específicamente para soportar la reconfiguración del canal de enlace descendente (codificación y modulación variable

o adaptable) y proporcionar medios para una sincronización fiable en la capa física y en la capa de enlace de datos.

La realización de un código Convocional Concatenado Serial (SCCC) hace uso de una gran variedad de técnicas de modulación (incluyendo QPSK, 8PSK, 16APSK, 32 APSK y 64APSK) y una amplia gama de velocidades de codificación, permitiendo al sistema general un uso eficiente del ancho de banda disponible, adaptándose a condiciones variables del enlace.

En la siguiente figura se puede apreciar la relación del estándar en cuestión con el modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos. En donde se definen dos subcapas en la capa de enlace de datos para los protocolos de enlace espacial CCSDS, los protocolos de datos espaciales para TM y AOS corresponden a la subcapa de protocolo de enlace de datos utilizando la unidad de protocolos de datos denominada marco de referencia. La subcapa de sincronización y codificación del canal es usado para transferir marcos de transferencia en un enlace espacial, mientras que la capa física en RF, proporciona métodos de modulación para transferir un flujo de bits sobre un enlace espacial en una sola dirección. Este estándar cubre funciones tanto en sincronización como en codificación en la capa física.

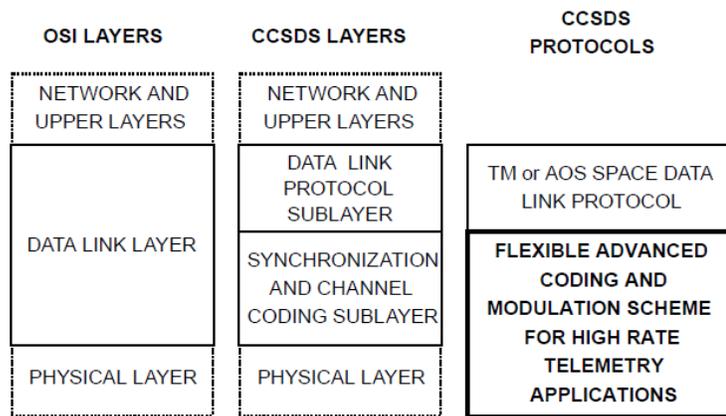


Figura a.3: relación de ccstds con la capa OSI. Fuente [17], pág, (140).

1.12.1 Modo de adaptación

La unidad de modo de adaptación proporciona la interfaz de las unidades de flujo entrantes, mapeando el formato eléctrico de entrada en un flujo de datos lógicos (Bits). Estableciendo la longitud de la trama entre los valores de mínimos y máximos de 223 octetos y 2048 octetos (es decir, de 16384 bits).

1.12.2 Codificación SCCC

La entrada al codificador será de bloques de información de tamaño de k bits. El tamaño del bloque de información será de formato ACM, con el objetivo de mantener una longitud constante de bloque codificados (N bits) en la salida del codificador SCCC, de tal manera que los símbolos generados por cada bloque de información sean constantes e iguales a 8100 símbolos.

ANEXO B
SENSORES

INFORMACIÓN DE SENSORES UTILIZADOS

Características de los sensores utilizados para la simulación de una trama de telemetría satelital:

1. **SENSOR DE VOLTAJE:** Registrador de voltaje monofásico con rango de hasta 600V AC/DC RMS AC+DC y precisión de $\pm 2\%$; display LCD; realiza la grabación de datos en papel; puede monitorear 2 canales simultáneamente. Modelo Hioki 8206-10.

Especificaciones:

TABLA N°B.1: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE VOLTAJE *HIOKI 8206-1*. Fuente (6), pág. 1.

Especificación	Características
Ancho de Banda	Velocidad de muestreo de 100 muestras / segundo (100 Hz)
Funcionalidad	Grabadores de voltaje y corriente verdaderos RMS con operación del multímetro.
Número de canales de entrada	1 canal de voltaje de CA y 1 canal de corriente alterna (Grabación simultánea basada en dos canales de alternancia de muestreo, para líneas eléctricas comerciales, la entrada está aislada de voltaje).
Precisión	Voltaje: $\pm 2\%$ f.s. (45 Hz a 66 Hz), corriente: $\pm 3,53\%$ f.s. (Utilizado con CLAMP ON SENSOR 9651 / opción, rango de CA 500 A)

2. **SENSOR DE HUMEDAD:** El sensor de humedad DHT22 se presenta en un cuerpo de plástico ideal para montar sobre un panel o similar. Utiliza un sensor capacitivo que devuelve una señal digital con la medición (no se necesitan pines analógicos). Conecta de 3 a 5V, el cable amarillo a un pin de entrada y el cable negro a GND. Usa un protocolo de un solo cable pero no es directamente compatible con Dallas One-Wire. Si necesitas utilizar varios sensores al mismo tiempo, cada uno necesita su propio pin de datos. Tiene internamente una resistencia pullup de 5.1K que conecta VCC con DATA por lo que no necesita nada extra para utilizarlo.

Especificaciones:

TABLA N°B.2: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE HUMEDAD DHT22.

Fuente (7), pág. 1.

Especificación	Características
Alimentación	De 3 a 5 V
Consumo	2.5 mA máx.
Rango	0-100%
Lectura	Capaz de leer temperatura de -40 a 80°C ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)
Frecuencia de muestreo	No más de 0.5 Hz
Dimensiones	27x59x13.5mm
Contenido	3 cables de 23 cm

3. **SENSOR DE DISTANCIA:** El sensor de distancia GP2Y0A21 Sharp es una manera de añadir evitación de obstáculos o detección de movimiento. Con un rango de detección de 4 a 32 pulgadas (10 cm a 80 cm) y un voltaje analógico que indica la distancia.

Especificaciones:

TABLA N° B.3: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE DISTANCIA *GP2Y0A21YK0F*. Fuente (8), pág. 1.

Especificación	Características
Dimensiones y peso	1.75" × 0.75" × 0.53", 3.5g.
Frecuencia de muestreo	26 Hz
Suministro de corriente	30 mA
Tipo de salida	Voltaje analógico
Rango máximo y mínimo	80 m y 10 cm respectivamente

4. **GIROSCOPIO, ACELERÓMETRO Y BRÚJULA:** El PhidgetSpatial 3/3/3 combina la funcionalidad de una brújula de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes. El 1042 podría utilizarse para: Rastrear si un objeto se está moviendo, y en qué dirección. Detecta la presencia de movimientos o vibraciones cercanos, seguimiento de la orientación de un objeto estacionario en relación con la atracción gravitacional de la Tierra y la dirección con respecto al norte magnético.

Especificaciones:

TABLA N°B.4: ESPECIFICACIONES DEL GIROSCOPIO, ACELERÓMETRO Y BRÚJULA *1042_0*. Fuente (9), pág. 1.

Especificación	Características
Medición máxima del acelerómetro	± 8 g
Período óptimo de medición del	286s

acelerómetro	
Velocidad máxima del giroscopio	$\pm 2000^\circ/\text{s}$
Resolución del giroscopio	$0.07^\circ/\text{s}$
Campo magnético máximo	5.5 G
Resolución de brújula	3 mG
Velocidad de muestreo Mínima	1 seg/muestra
Velocidad de muestreo máxima	4 ms/muestra

5. **SENSOR DE TORQUE:** El HHTQ88 es un medidor de torque digital para automoción, automatización, laboratorios y aplicaciones industriales en general. La unidad viene completa con el sensor de par con mandril incorporado de 12 mm y llave de mandril. El HHTQ88 también tiene velocidades de muestreo rápidas y lentas para adaptarse a la mayoría de las aplicaciones de automatización. La interfaz serie RS232 le permite descargar datos para su uso en su registro de datos o programas de grabación.

Especificaciones:

TABLA N°B.5: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE TORQUE Fuente (10), pág. 1.

Especificación	Características
Precisión	$\pm 1,5\%$ FS +5 dígitos, $23 \pm 5^\circ\text{C}$, incluye linealidad, repetibilidad e histéresis
Temperatura de funcionamiento	0 a 50°C
Humedad de funcionamiento	<80% HR (sin condensación)

Alimentación	pila alcalina de 9 V
Tiempo máximo de muestreo	0.125 segundos
Tiempo mínimo de muestreo	0,334 seg.
Dimensiones del sensor	48 D x 160 mm L
Peso del sensor	665 g

6. **SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD:** Sensor utilizado para las pruebas es el DTH22/AM2302 (C96).

Especificaciones:

TABLA N° B.6: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT22/AMT22. Fuente (11), pág. 1.

Especificación	Características
Alimentación	3 a 5V y E / S
Precisión	2-5% con humedad de 0-100%,
Frecuencia de muestreo	0.5 Hz
Dimensiones	15.1mm x 25mm x 7.7mm

7. **SENSOR DE DISTANCIA:** El sensor de distancia puede conectarse a los recolectores de datos ITP-C, MultiLogPRO o TriLink. El sensor de distancia mide la distancia entre el sensor y un objeto, en el rango entre 0.2 y 10 m. El sensor puede obtener datos a una frecuencia de hasta 50 muestras por segundo, por lo cual es excelente para experimentos de dinámica y cinemática.

Especificaciones:

TABLA N°B.7: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE DISTANCIA DT020-

I. Fuente (12), pág. 2.

Rango:	0.2 m – 10 m
Precisión:	2% del rango total
Resolución (12-bits):	2.44 mm
Frecuencia de muestreo:	Hasta 50 muestras por segundo
Ángulo de recepción:	$\pm 15^\circ$ a $\pm 20^\circ$
Características:	indica posición, velocidad y aceleración
Tipo de entrada del recolector de datos:	digital
Utilización recomendada del sensor:	Operar con el adaptador CA/CC conectado al recolector de datos

8. **SENSOR DE PRESIÓN:** El sensor de presión (0 - 700 kPa) puede conectarse a los recolectores de datos ITP-C, MultiLogPRO o TriLink. El sensor de presión (0 - 700 kPa) es un sensor de presión absoluta de gas. Éste mide la presión externa aplicada, en relación con la presión de referencia establecida dentro del sensor. El rango del sensor de presión es de 0 - 700 kPa (0 - 6.9 atm. o 0 – 7000 mbar). El sensor incluye un tubo plástico con un conector de cierre tipo Luer el cual es adecuado para la realización de experimentos en recipientes pequeños, tales como jeringas y válvulas.

Especificaciones:

TABLA N°B.8: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE PRESIÓN *DT015-1*.

Fuente (13), pág. 2.

Rango:	0 - 700 kPa
Precisión:	±3 % del rango total
Resolución (12-bits):	0.18 kPa
Frecuencia de muestreo por omisión:	10 muestras por segundo
Tiempo de respuesta (para un cambio del 90% en la lectura):	1 ms
Temperatura de operación:	0 °C a 85 °C
Características:	equipado con un tornillo de balance de calibración

9. **SENSOR DE INCLINACIÓN:** Los inclinómetros SOLAR-360 son de alto rendimiento. Sensores de inclinación de un solo eje para la medición. De ángulo en todo el rango de 360°. Originalmente Diseñado para su uso en la concentración de perseguidores solares, También pueden utilizarse en una amplia gama de otras aplicaciones. Tiene una opción de interfaz RS232 y RS485 con protocolo de comunicación estándar, así como Versión con comunicación RS485 multi-gota ModBus protocolo.

Especificaciones:

TABLA N°B.9: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE INCLINACIÓN

SOLAR-360. Fuente (14), pág. 1.

Especificación	Características
Temperatura de funcionamiento	-40 a 85°C
Frecuencia de muestreo	1 Hz
Peso	45 g
Rango de medición	±180°

10. **GIROSCOPIO:** Los ADIS16260 y ADIS16265 son giroscopios digitales programables que combinan el MEMS. Cuando se aplica alimentación, el ADIS16260 y el ADIS16265 se ponen en marcha automáticamente Y comienza el muestreo los datos del sensor, sin requerir órdenes de configuración de un procesador del sistema. Una estructura de registro direccionable y una interfaz periférica serie en serie (SPI) proporcionan acceso a los datos de los sensores ya los ajustes de configuración.

Especificaciones:

TABLA N°B.10: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE INCLINACIÓN

ADIS16260 y *ADIS16265*. Fuente (15), pág. 1

Especificación	Características
Dimensiones	(11.2 mm × 11.2 mm × 5.5 mm)
Frecuencia de muestreo	200 Hz
tipo	digital
Voltaje para su funcionalidad	4.75 V to 5.25 V

ANEXO C

PYTHON

PYTHON

Python es un lenguaje de programación creado a finales de los 80's por Guido van Rossum en el Centro para las Matemáticas y la Informática (CWI, Centrum Wiskunde & Informatica), en los Países Bajos. Se trata de un lenguaje de programación que se adapta a la mayoría de las áreas, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y programación funcional.

Posee licencia gratis, utilizado mayormente en un entorno Linux, además de ocupar poco espacio en el disco duro de la computadora. Python es un lenguaje de programación poderosa y fácil de aprender. Cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel y un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos.

La sintaxis de Python y su tipado dinámico, junto con su naturaleza interpretada, hacen de éste un lenguaje ideal para scripting y desarrollo rápido de aplicaciones en diversas áreas y sobre la mayoría de las plataformas.

En el presente trabajo de grado se utilizó Python 3.0, una de las versiones más recientes del lenguaje Python lanzado a la programación años recientes, el cual contiene muchas nuevas características y optimizadores, permitiendo líneas de códigos compactos.

Python Vs Matlab

Se habla de la transición de Matlab a Python, en el ecosistema científico, Python está madurando rápido y es una alternativa atractiva, porque es libre, de código abierto, y cada vez más poderoso.

Por supuesto, Matlab también tiene sus ventajas, entre ellas están que tiene una cantidad sólida de funciones, Simulink es un producto para el que aún no existe una buena alternativa, podría ser más fácil para los principiantes, porque el paquete incluye todo lo que necesita. Mientras que en Python es necesario instalar paquetes adicionales y un IDE. (Pyzo trata de resolver este problema.), además de que tiene una gran comunidad científica y se utiliza en muchas universidades (aunque pocas compañías tienen el dinero para comprar una licencia).

Mientras que Python fue creado para ser un lenguaje genérico que es fácil de leer, mientras que Matlab comenzó como un paquete de manipulación de la matriz a la que agregaron un lenguaje de programación. Debido a que Python es gratuito, su código puede ejecutarse en todas partes. También funciona en Windows, Linux y OS X.

En el presente trabajo de grado se plantea una innovación a un diferente lenguaje de programación, el cual puede ser utilizado en cualquiera de las cuatro áreas que existen actualmente en la escuela de Eléctrica, ya que es adaptable y fácil de usar, además de que permite un ahorro en licencia y en espacio de disco duro.

ANEXO D

DIAGRAMA DE FLUJO