

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE SENSORES EN SISTEMAS
DE TELEMETRÍA SATELITAL**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Alexandra C. Sandia I.
Para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 25 de octubre 2017

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 25 de octubre de 2017

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Alexandra C. Sandía I., titulado:

“EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE SENSORES EN SISTEMAS DE
TELEMETRÍA SATELITAL”.

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Carolina Regoli
Jurado


Prof. Gerlis Caropresse
Jurado


Prof. Francisco Varela
Tutor Académico

A Dios y a mi madre

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante a pesar de todas las adversidades y por permitirme lograr esta meta, por protegerme y guiarme.

A mi madre Zandra por su entrega inalcanzable, por su apoyo, por los sacrificios, porque sin ella no lo hubiera logrado, por acompañarme en cada caída y en cada logro, por enseñarme a seguir luchando y nunca desmayar por siempre creer en mí, por darme todo sin pedir nada a cambio. Este logro también es tuyo.

A mis tíos Arturo y Patricia y mi primo Gabriel, por su constante estímulo y apoyo durante toda mi vida y mi carrera, quienes me han ayudado en todo lo que he necesitado.

A mi tía Tania y a mis primas por siempre tener una palabra de aliento cuando más lo necesité.

A mis abuelos Ángel y Petra, por sus bendiciones, su apoyo incondicional, a pesar de la distancia.

A mi tutor Francisco Varela, por permitirme trabajar con él, por guiarme, por su paciencia, su entusiasmo y por brindarme nuevas perspectivas a lo largo de este trabajo.

Al Departamento de Comunicaciones, especialmente a la secretaria María Auxiliadora, por siempre ayudarme y apoyarme en todo lo que necesité.

A mi amada Universidad Central de Venezuela por abrirme las puertas del conocimiento, a la cultura, a la diversidad, me siento muy orgullosa de ser ucevista.

A la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Eléctrica, por todas las enseñanzas y por hacerme sentir parte de una familia.

A mis amigos de la escuela, a los que se convirtieron en mi familia, en las mesas del segundo piso, los que estudiaron conmigo día y noche, gracias por acompañarme en este importante camino de superación.

A los que creyeron en mí, Gracias a todos por hacer esto posible.

Alexandra C., Sandia Ibañez

EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE SENSORES EN SISTEMAS DE TELEMETRÍA SATELITAL

Tutor académico o tutor guía: Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones Francisco Varela. Caracas. U.C.V. Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Tesis. 109 págs.

Palabras Claves: Satélite, telemetría, sensores, plataforma satelital, trama, estándares, frecuencia de muestreo, velocidad de muestreo.

Resumen: En vista de la importancia que tiene el sistema de telemetría satelital, para el desarrollo eficaz de las comunicaciones, ya que permite un monitoreo constante de estos satélites, para así prevenir posibles catástrofes, existe la necesidad de investigar sobre el funcionamiento de la telemetría y en qué consiste el proceso de envío y recepción de datos, hacia y desde Tierra, para poder así tener control del satélite, en cuanto a posición orbital, desplazamiento de los paneles solares, estado del combustible, entre otros.

En el presente Trabajo especial de grado se hace una investigación del sistema de telemetría satelital y los sensores que pueden estar ubicados en una plataforma satelital, independientemente del tamaño y peso de este mismo. Además de simular un envío de datos emitidos por sensores reales, para así enviar esta información por una trama de datos, regido por los estándares de telemetría satelital, tomando en cuenta que el más importante es el CCSDS. Esta simulación permite tener una visión clara del envío de información por una trama de datos, la cual podrá ser utilizada para futuras clases o prácticas de laboratorio de comunicaciones.

ÍNDICE GENERAL

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE ACRÓNIMOS	xiv
LISTA SÍMBOLOS	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos.....	4
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1 Definición de Satélite	6
2.2 Comunicaciones Satelitales	7
2.3 Órbita Geoestacionaria.....	7
2.3.1 Características Físicas.....	7
2.3.2 Ocupación de la órbita geoestacionaria.....	8
2.4 Características del medio espacial.....	10
2.4.1 Fuerzas perturbadoras.....	12
2.4.2 Efectos de la temperatura.....	13
2.4.3 Efectos del Vacío	14
2.4.3 Efectos de la radiación.....	15
2.4.5 Efectos de meteoritos.....	16

2.4.6 Interferencia solar.....	16
2.4.7 Eclipses.....	18
2.5 Subsistemas que componen un satélite.....	19
2.5.1 Plataforma del satélite.....	20
2.5.1.1 Subsistema de estructura.....	21
2.5.2 Subsistema de propulsión.....	22
2.5.3 Subsistema de potencia y control térmico.....	23
2.5.4 Subsistema de control y orientación.....	25
2.5.5 Subsistema de telemetría y seguimiento.....	28
2.5.6 Carga útil del satélite.....	29
2.5.7 Subsistema de antenas.....	29
2.5.8 Subsistema de comunicación.....	30
2.6 Telemida y Telemetría en satélites de comunicación.....	31
2.6.1 Telemetría.....	33
2.6.2 Enlace de la telemetría satelital.....	34
2.7 Sensores ubicados en la plataforma satelital.....	35
2.7.1 Sensores ópticos.....	36
2.7.2 Sensores de radiación solar.....	37
2.7.3 Sensores digitales de aspecto solar (DSADs).....	38
2.7.4 Sensores de horizonte terrestre (sensor tipo barrido).....	38
2.7.5 Sensores de estrella.....	39
2.7.6 Sensores mecánicos.....	39
2.7.6.1 Giróscopio.....	39
2.7.7 Sensores magnéticos.....	40
2.7.7.1 Magnetómetros.....	40
2.7.8 Sensor de temperatura.....	40
2.7.8.1 Termocupla.....	41
2.7.8.2 Termistores.....	41
2.7.8.3 Termorresistencia.....	42
2.7.9 Sensor de presión.....	43

2.7.10	Sensores de desplazamiento, posición y proximidad.....	44
2.7.11	Sensores de velocidad y movimiento.....	44
2.8	Organismos de estandarización para comunicación Satelital.....	45
2.8.1	IEEE (institute of electrical and electronics engineer).....	45
2.8.2	ITU International Telecomunicacion Union).....	45
2.8.3	ANSI (American National Standards Institute).....	46
2.8.4	TIA (Telecommunication Industry Asociacion).....	47
2.9	ESTANDARIZACIÓN DE LA TELEMETRÍA	48
2.9.1	Comité Consultivo de Sistemas de Datos spaciales (CCSDS).....	48
2.9.1.1	Cabecera primaria de la trama de transferencia de trama.....	50
2.9.1.1.1	Identificador del canal maestro.....	51
2.9.1.1.2	Identificador del canal virtual.....	52
2.9.1.1.3	Bandera del campo de control operativo.....	52
2.9.1.1.4	Contador de la trama.....	52
2.9.1.1.5	Contador de canal virtual de la trama.....	53
2.9.1.1.6	Estado de campo de datos de la trama de transferencia...53	
2.9.1.2	Cabecera secundaria de la trama de transferencia.....	58
2.9.1.2.1	Identificación de la cabecera secundaria de la trama de transferencia.....	59
2.9.1.2.1.1	Número de versión de cabecera secundaria del marco de la trama de transferencia.....	60
2.9.1.2.1.2	Longitud de la cabecera secundaria de la trama de transferencia.....	60
2.9.1.2.2	Campo de datos de la cabecera secundaria de la trama de transferencia.....	60
2.9.1.2.2.1	Campo de trasferencia de datos de trama.....	61
2.9.1.2.3	Campo de control.....	62
2.9.1.3A	Campo de control operacional.....	62
2.9.1.3B	Campo de control de error de trama.....	63

2.9.1.2.4 Procedimiento de codificación de campo de control de error de trama.....	64
2.9.2 Grupo de Instrumentación Entre distancias (IRIG 106-04).....	65
2.9.2.1 Sistemas de transmisores y receptores.....	66
2.9.2.2 Normas de modulación de códigos de impulsos.....	66
2.9.2.2.1 Distinción de clase y características orientadas a bits.....	66
2.9.2.2.1.1 Distinciones de Clase I y Clase II.....	66
2.9.2.2.1.2 Definiciones y requisitos orientados a bits.....	67
2.9.2.2.1.3 Velocidad de bits.....	67
2.9.3 Formatos fijos.....	67
2.9.3.1 Palabras orientadas a las definiciones y requerimientos....	67
2.9.3.2 Palabra de numeración.....	67
2.9.3.2.1 Estructura de la trama.....	67
2.9.3.2.2 Trama menor.....	68
2.9.3.2.2A Longitud de la trama menor.....	68
2.9.3.2.2B Composición de la trama menor.....	68
2.9.3.2.2C Sincronización de la trama menor.....	68
2.9.3.2.3 Trama mayor o formato de tramas.....	69
2.9.3.2.3.1 Longitud de trama mayor.....	69
2.9.3.2.3.2 Numeración de la trama menor dentro de una trama mayor.....	69
2.9.3.2.4 Subconmutación.....	69
2.9.3.2.4.1 Subtrama.....	69
2.9.3.2.4.2 Método de sincronización de subtrama.....	70
2.9.3.2.4.3 Superconmutación.....	70
2.10 COMPARACIÓN Y RELACIÓN ENTRE ESTÁNDARES DE TELEMETRÍA.....	71
2.11 CARACTERÍSTICAS QUE SE TOMARÁN EN CUENTA PARA EL DISEÑO DEL CANAL DE TEMETRÍA.....	72
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	74

3.1 Diseño del canal de telemetría en términos de ancho de banda.....	74
3.2 Número de sensores distribuidos en la plataforma satelital.....	79
3.3 Diagrama de flujo para el desarrollo de un prototipo o Modelo de una trama utilizada en la telemetría.....	80
CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO O MODELO DE UN CANAL DE TELEMETRÍA.....	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.- Caja imaginaria dentro de la cual se debe mantener al satélite para que opere correctamente.....	11
FIGURA 2.- Interferencia solar cuando el satélite, el sol y la estación terrena están sobre una misma línea.....	17
FIGURA 3.- Posición relativa del sol y la tierra respecto al satélite. (a) varias semanas antes del eclipse. (b) durante el comienzo del eclipse. (c) durante un equinoccio (21 de marzo o 21 de septiembre).....	18
FIGURA 4.- Gráfica que muestra la duración de los eclipses.....	19
FIGURA 5.- Componentes de un satélite.....	22
FIGURA 6.- Estructura general de un transpondedor satelital.....	31
FIGURA 7.- Telemetría y telecomando en satélites de comunicación.....	32
FIGURA 8.- Esquema de un sensor de radiación solar.....	37
FIGURA 9.- Esquema de un sensor digital de aspecto solar.....	38
FIGURA 10.- Esquema de un sensor de horizonte terrestre.....	38
FIGURA 11.- Esquema de un giróscopio.....	40
FIGURA 12.- Termocupla.....	41
FIGURA 13.- Termistores.....	42
FIGURA 14.- Sensores de desplazamiento, posición y proximidad.....	44
FIGURA 15.- Estructura general de la trama de transferencia.....	50
FIGURA 16.- Encabezado primario de la trama de transferencia.....	51
FIGURA 17.- Formato estado del campo de datos de la trama de transferencia.....	54
FIGURA 18.- Formato del encabezado secundario de transferencia de trama.....	59
FIGURA 19.- Características de un formato de trama.....	70
FIGURA 20.- Esquema general de un formato de trama.....	79
FIGURA 21.- Velocidades de muestreo a utilizar en el diseño de una trama de telemetría satelital.....	83
FIGURA 22.- Lista de sensores a utilizar con el número de sensores especificado,	

Para todas las velocidades de muestreo.....	83
FIGURA 23.- Ejemplo del diseño del canal de telemetría.....	86

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.- División del mundo para la UIT.....	10
TABLA 2.- Bandas de frecuencias empleadas en TT&C.....	34
TABLA 3.- Comparación y relación entre estándares de telemetría.....	71
TABLA 4.- Características que se tomarán en cuenta para el diseño del canal de telemetría.....	72
TABLA 5.- Sensores seleccionados para el desarrollo de un prototipo o modelo de una trama utilizada en la telemetría.....	81
TABLA 6.- Diseño de la abreviatura del sistema.....	84

LISTA DE ACRÓNIMOS

ANSI: American National Standards Institute.

CCSDS: Comité Consultivo De Sistemas De Datos Espaciales.

DSADs: Sensores digitales de aspecto solar.

GEO: Órbita Geoestacionaria.

GPS: Sistema de posicionamiento global

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineer.

IEC: International Electrotechnical Commission.

IRIG 106-04: Grupo de Instrumentación Entre Distancias.

ISO: Internacional Organization for stadardizacion.

ITU: International Telecomunicacion Union

LEO: Órbita terrestre baja.

NTC: negative temperatura coeficient.

OID: Cuadros de Transferencia.

PCM: Modulación de Código de Impulsos

ROE: recurso Órbita-Espectro.

RTD: Termoresistencia

RCC: Rango del Consejo de Comandantes.

TWT: Amplificadores de alta potencia.

TDM: Acceso Múltiple por División de Tiempo.

TIA: Telecommunications Industry Association.

TM: Transferencia de Trama.

TT&C: Telemetría, Telecomando y Control.

UIT-T: sector de Normalización de las Telecomunicaciones.

UIT-R: sector de Normalización de las Radiocomunicaciones.

UIT-D: Sector de desarrollo de las Telecomunicaciones de la ITU

LISTA SÍMBOLOS

°C Grados Centígrados
bps Bits por segundo
Mbps Mega bits por segundo
Gbps Giga bits por segundo
Hz Hertz
MHz Mega Hertz
GHz Giga Hertz
V Voltios
VDC Voltios en corriente directa
VAC Voltios en corriente alterna
A Amperios
mA Mili Amperios
mm Milímetros
m Metros
km Kilómetros
% Porcentaje

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el hombre siempre ha tenido la necesidad de comunicarse, todo esto por la misma tendencia natural de los seres humanos del dinamismo, por pretender estar físicamente en varios lugares y poder rendir cuentas, estar informados o estar comunicados con otras personas al otro lado del mundo, y gracias a los avances tecnológicos la distancia no es impedimento para que esto suceda.

Los satélites han sido utilizados como medios de enlaces para la comunicación entre dos puntos lejanos, logrando un mayor alcance, una comunicación más rápida, confiable y sin limitaciones geográficas, para así lograr llevar a cabo todas las actividades productivas que permiten el desarrollo de la sociedad.

La implementación de estos satélites como estaciones de enlace de comunicaciones permite la comunicación entre un gran número de usuarios, y se pueden utilizar como repetidoras de microondas en el cielo, compuesto por vehículos espaciales, estaciones terrenas que controlan el funcionamiento del satélite. La plataforma de los satélites de telecomunicaciones están conformados por sensores, que permiten la recolección de información de variables que determinan la respuesta ante la exposición al medio en el que se encuentran a lo largo de su vida útil.

Otro elemento importante en los satélites de telecomunicación es la telemetría, que consiste en una tecnología que brinda una técnica automatizada de las comunicaciones. Que, Junto con la ayuda de las mediciones y los datos recolectados por los sensores, ubicados en la plataforma de los satélites, permiten proporcionar información del medio que rodean a estos, para así tener información y control de variables como la temperatura, la presión, posición orbital, entre otros, desde el

centro de control espacial en la tierra, sirviendo como ayuda para corregir ciertas variaciones que afecte al sistema e impida brindar un óptimo servicio.

En esta investigación se propone el estudio de cada uno de los sensores que están ubicados en la plataforma del satélite, así como la búsqueda del estándar que mejor se adapte para el funcionamiento de la telemetría en los satélites, lo que permita una óptima comunicación con el satélite.

En el capítulo I del presente trabajo de grado se muestra una explicación de las necesidades de los satélites de comunicación para el desarrollo de la sociedad, y la utilización del sistema de telemetría junto a los transductores para el constante monitoreo de estos satélites. Además se podrá visualizar los diferentes objetivos que se tienen en el trabajo de grado.

En el capítulo II se explicará todo lo que se refiere al marco teórico, explicando cada uno de los conceptos necesarios para el entendimiento de cada uno de los temas a tratar en el presente trabajo de grado.

En el capítulo III se desarrollará todo el marco metodológico, en donde se detallan todos los pasos que se realizarán para el diseño del canal de telemetría en términos de ancho de banda, basados en los estándares CCSDS.

Y por último se podrá observar las conclusiones del trabajo de grado, en el cual se podrá leer la importancia del sistema de telemetría, junto a los transductores en los satélites de comunicación, además de las recomendaciones que se realizarán a futuros trabajos de grado, para así tener una continuación del presente trabajo de grado, teniendo menos limitaciones.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El medio en que habitan los satélites es un lugar extremo, en el espacio existe un vacío casi absoluto, temperaturas extremas, radiaciones intensas y partículas muy veloces que pueden dañar o incluso destruir el satélite, además existen fuerzas gravitatorias originadas en cuerpos celestes que tienden a sacar al satélite de su órbita. Por este motivo, es necesario un monitoreo constante del satélite.

Es así como surge la necesidad de la utilización de diferentes tipos de sensores para el seguimiento y control de los satélites, para así evitar lo más posible algún riesgo, daño parcial o temporal de éste sistema, ya que cada uno de éstos satélites de telecomunicaciones representan una parte muy importante en el desarrollo de la sociedad.

Los sensores ubicados en la plataforma de los satélites de telecomunicación están asociados a la telemetría, que provee la capacidad esencial para efectuar el monitoreo y control del funcionamiento del satélite una vez que ha llegado a su órbita asignada, describiendo el estado de configuración y condiciones tanto de la carga útil como de los subsistemas del satélite.

El sistema de telemetría debe convertirse en una herramienta que ofrezca integridad y confiabilidad, con un alto nivel de flexibilidad para poder operar en caso de fallas en la órbita, y ser uno de los últimos sistemas en permanecer en funcionamiento en caso de falla total.

Por el motivo de lo planteado anteriormente y buscando obtener información necesaria para el estudio de cada uno de los sensores ubicados en la plataforma del satélite y la relación detallada que existe con la telemetría, se plantean las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los tipos de sensores ubicados en la plataforma del satélite?, ¿Cómo están distribuidos estos sensores en la plataforma satelital?, ¿Cómo se relaciona éstos sensores con la telemetría?, ¿En qué estándares está basada la telemetría actualmente y cómo podría mejorarse?.

OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar y seleccionar los sensores en sistemas de telemetría satelital.

2.1 Objetivos Específicos

- Comparar los estándares existentes de telemetría en la plataforma satelital.
- Diseñar el canal de telemetría en términos de ancho de banda.
- Determinar el número de sensores que se encuentran distribuidos en la plataforma satelital.
- Desarrollar un prototipo o modelo de una trama utilizada en la telemetría, acompañada con un ejemplo mediante un diagrama de flujo.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

A través del tiempo se ha desarrollado la necesidad de una mejora en calidad de servicios de comunicación tanto en telefonía como en televisión, entre otros. Los satélites son el único medio de transmisión capaz de enviar sonidos, imágenes, signos, señales, de manera simultánea o de manera individual, a la tierra (en los centros de control) y viceversa.

Por este motivo es de vital importancia conocer el estado de los satélites de telecomunicaciones una vez puesta en órbita, utilizando la telemetría como medio de transmisión de datos.

Realizar un estudio detallado de todos los sensores que estén involucrados en el satélite y de la comunicación que existe con los centros de control a través de la telemetría, buscando un estándar que contenga las características necesarias para un mejoramiento en el servicio, es un pequeño aporte para seguir evolucionando en tecnología y calidad.

Las principales características a considerar en el estudio de la telemetría son: el canal a utilizar como medio de transmisión, el ancho de banda requerido, entre otros, para así proveer la máxima cantidad de información respecto a los subsistemas del satélite, operando así, con un alto grado de confiabilidad, asegurando una coherencia entre los datos producidos. Además de tomar en cuenta los requerimientos mínimos en cuanto a costo de equipamientos terrestres compatibles, incluyendo la localización y caracterización de la frecuencia recibida, adecuados al perfil técnico de las estaciones terrenas, utilizando los requerimientos mínimos de energía.

La comunicación de los sensores con los controles terrestres a través de la telemetría ya ha sido estudiada anteriormente, sin embargo es necesario buscar mejoras de calidad de servicios sobre lo ya existente, para mayor eficiencia.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación se presentarán todos los fundamentos teóricos necesarios para la realización del Trabajo Especial de Grado.

2.1 Definición de Satélite

La palabra satélite que proviene del latín *satelles*, puede utilizarse para nombrar dos objetos astronómicos de características muy diferentes, en este trabajo especial de grado se trabajará los satélites artificiales de comunicaciones.

En el año de 1945 en la revista *Wireless World* se publicó un artículo titulado *Extraterrestrial Relays (Retransmisión Extraterrestre)*, en este, el autor Arthur C. Clarke propone que con sólo tener tres objetos separados entre sí 120° en el espacio desplazándose en el mismo sentido que la Tierra a una distancia tal que el tiempo que tarde en orbitar la tierra sea de 24 horas sería posible intercomunicar por radio a casi la totalidad del mundo. Para esto se debe situar cada objeto a una distancia aproximada de 42.000 km del centro de la tierra, sobre un plano coincidente con el ecuador terrestre y viajar a una velocidad aproximada de 3705 m/s, de esta forma sería visto desde la tierra como un punto fijo.

La propuesta de Clarke estaba enfocada a las comunicaciones mediante señales de voz, puesto que el autor creía que solo se podían propagar este tipo de señales porque las condiciones atmosféricas impedirían la propagación de otro tipo de señales. A pesar de la creencia de Clarke y gracias a los avances científicos y tecnológicos, se pueden transmitir varios tipos de señales; siendo en estos días el

principal uso de los satélites de comunicaciones la transmisión de señales de video a los hogares.

2.2 Comunicaciones Satelitales

Los satélites de comunicaciones, son los empleados para realizar telecomunicación. Se emplean como repetidores de señales de información para que la señal que porta dicha información pueda llegar a puntos alejados geográficamente. Gracias a este tipo de satélites se pueden comunicar personas de todo el mundo. La idea de Clarke era realmente muy buena, sin embargo debían cumplirse una serie de requisitos para que el satélite fuera fijo visto desde la tierra, es decir, para que el satélite fuera geoestacionario, desplazándose en el mismo sentido de la Tierra, completando una vuelta en 24 horas, implicando tener al satélite a una altura de casi 36.000 km sobre el nivel del mar, en órbita circular, girando a una velocidad de 3075 m/s. La órbita que hace cumplir al satélite con estos requisitos se llama órbita geoestacionaria, también llamada órbita de Clarke. [2]

2.3 Órbita Geoestacionaria

“La órbita geoestacionaria (GEO por sus siglas en inglés), Es una órbita ecuatorial, circular y geosíncrona con una altitud de 35.786 km. Un satélite allí ubicado tendrá un periodo orbital igual al periodo de rotación de la Tierra y visto desde ella, parecerá inmóvil en el cielo. La órbita de los satélites geoestacionarios goza de una singularidad extraordinaria. Sus características, que se describirán a continuación, la convierten en un sitio muy concurrido del espacio ultraterrestre, por ende merecedor de un régimen especial. El objetivo de esta sección consiste en identificar las peculiaridades de esta órbita, con el fin de entender por qué es un elemento esencial para la infraestructura de las telecomunicaciones globales”. [25]

2.3.1 Características Físicas

La órbita de los satélites geoestacionarios, como ya se había mencionado anteriormente, es una órbita geosíncrona ubicada justo sobre el ecuador terrestre a

una altura de 35.786 km. El período del satélite es igual a un día, por lo que para el observador terrestre parece que estuviera inmóvil, por esto su nombre de geoestacionario. El satélite realiza una vuelta alrededor de nuestro planeta al mismo tiempo que éste efectúa una rotación completa alrededor de su propio eje. Al tener bajo observación constante una amplia zona de la Tierra y ser visible en todo momento desde cualquier punto ubicado en esa región, la antena terrestre puede permanecer fija sin necesidad de moverse para rastrear el satélite. A continuación, las características de la trayectoria de un satélite geoestacionario:

- Periodo de órbita igual a un día sideral (23h, 56m, 4s).
- Rotación prógrada, por lo que el satélite gira en el mismo sentido que la Tierra.
- Inclinação igual a 0° , lo que la hace una órbita ecuatorial.
- Excentricidad igual a 0, lo que la hace una órbita circular.

La órbita de los satélites geoestacionarios tiene una longitud total de 263.957 km. Es importante señalar que esta órbita no cubre la zona polar. Esta órbita no debe considerarse estrictamente un círculo, sino más bien una especie de anillo tridimensional que circunda la Tierra.

2.3.2 Ocupación de la órbita geoestacionaria

“El recurso de la órbita de los satélites geoestacionarios circunscribe tres elementos fundamentales:

- (i) Posición: ¿en qué arco de la órbita está ubicado el satélite?
- (ii) Espectro: ¿qué frecuencias son utilizadas?
- (iii) Cobertura: ¿qué áreas de la Tierra son radiadas?

El ensamble de estos tres elementos compone el denominado recurso órbita-espectro (ROE)”. [26].

El ROE, según la CAN (2008), "es el recurso natural constituido por las posiciones orbitales en la órbita de los satélites geoestacionarios, y el espectro radioeléctrico atribuido o adjudicado a los servicios de radiocomunicaciones por satélite por la Unión Internacional de Telecomunicaciones". Todos los satélites requieren acceso al espectro radioeléctrico para poder comunicarse con la estación terrena.

El espectro electromagnético abarca desde los rayos gamma hasta las ondas de radio, pasando por el espectro visible. No todas las ondas electromagnéticas son propicias para usarse como medios de transmisión de los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión, de forma que sólo las que se encuentran en determinado rango son susceptibles de ser empleadas para prestar este tipo de servicios. En este orden de ideas, las ondas radioeléctricas o hertzianas son ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz y son utilizadas para las telecomunicaciones. Se entiende como radiocomunicación toda telecomunicación transmitida por medio de las ondas radioeléctricas[26]. El mecanismo de la radio y la televisión consiste en la transformación de señales (sonoras, o sonoras y visuales simultáneamente) en energía radioeléctrica que, conducida a través de ondas hertzianas, es recogida y transformada de nuevo, siguiendo un procedimiento inverso al inicial, en sonido e imágenes. Los satélites no son sino repetidoras de las ondas radioeléctricas colocados en el espacio. Los satélites comerciales funcionan en tres bandas de frecuencias, llamadas C, Ku y Ka. La gran mayoría de emisiones de televisión por satélite se realizan en la banda Ku.

TABLA 1: DIVISIÓN DEL MUNDO PARA LA UIT. Fuente [1], pág (16).

Banda	Enlace descendente	Enlace ascendente	Ancho de banda	Problemas
C	4.0 GHz	6.0 GHz	500 MHz	Interferencia terrestre
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	lluvia
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Lluvia, costo del equipo

“La separación entre satélites vecinos está regida por los niveles permisibles de interferencia radioeléctrica, de manera que se pueda garantizar la buena transmisión y recepción de cada uno, sobre todo si funcionan en frecuencias similares. Estas interferencias suelen ocurrir, ya que los platos parabólicos usados en los satélites tienen lóbulos de radiación secundarios (laterales) desde los cuales se puede radiar o recibir hacia o desde direcciones indeseadas” [2].

2.4 Características del medio espacial

El medio en el que habitan los satélites es un lugar muy complejo y poco amigable para ellos. En el espacio hay vacío casi absoluto, temperaturas extremas, radiaciones intensas y partículas muy veloces que pueden dañar o hasta incluso destruir al satélite. También hay fuerzas gravitatorias originadas en cuerpos celestes que tienden a sacar al satélite de su órbita.

Cuando el satélite llega a su posición orbital definitiva, listo para dar servicio, se encuentra con que no resulta fácil mantenerlo en una posición estable y con las antenas apuntando hacia la dirección donde debe prestar el servicio. Esto se debe a las fuerzas de atracción externas que, tienden a mover de su órbita al satélite, por lo cual se debe encontrar con un sistema de propulsión que permita hacer correcciones periódicas para evitar estos desacomodamientos[2].

Para que se tenga una idea de que tanto se puede mover el satélite debemos imaginarnos que se encuentra encerrado en una jaula imaginaria, mostrada en la Figura 1, de la que hay que evitar que se salga haciendo maniobras necesarias. Estas correcciones se hacen desde el centro de control espacial en la Tierra que utiliza un complejo sistema informatizado y que además recibe información desde el satélite que le ayuda a tomar decisiones para corregir las variaciones orbitales.

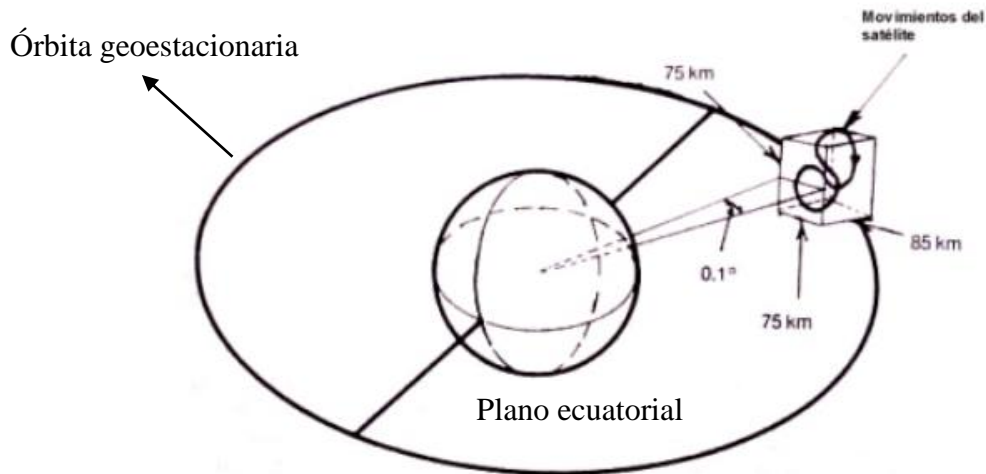


Figura 1: Caja imaginaria dentro de la cual se debe mantener al satélite para que opere correctamente. Fuente [2], pág. (6)

Cada vez que el subsistema de propulsión se enciende para hacer correcciones orbitales o la orientación del satélite, se consume combustible y poco a poco los tanques de almacenamiento se irán vaciando. Una vez que el combustible se acaba, luego de varios años de haber realizado maniobras correctivas, ya no es posible mantener al satélite dentro de la caja imaginaria y se corre el riesgo de causarle interferencia a otros sistemas con lo cual debe ser desactivado el satélite. Esta vida útil del satélite depende de la eficiencia con lo que los operadores de tierra hagan sus maniobras correctivas, administrando eficientemente el uso del

combustible. La vida útil actualmente de un satélite es de aproximadamente 10 años o más.

2.4.1 Fuerzas perturbadoras

La fuerza perturbadora que más afecta a un satélite se debe a la asimetría o triaxialidad del campo gravitatorio de la Tierra. Este campo no es esféricamente uniforme ya que la distribución de la masa del planeta no es homogénea. Esta no uniformidad del campo gravitatorio de la Tierra combinada con el hecho de que el satélite tampoco tiene una masa homogénea, produce un par gravitatorio. Este par hace que el satélite gire alrededor del centro de su masa y que su velocidad varíe conforme se desplaza sobre su órbita. Este campo de velocidad hace que el satélite se mueva hacia el Este o el Oeste sobre el arco ecuatorial, dentro de una caja imaginaria. Este movimiento se llama “deriva” del satélite. La aceleración producida es del orden de una milésima de grado por día.

La Luna también ejerce un efecto gravitatorio sobre el satélite aunque mucho menor ya que la Luna es mucho más pequeña que la Tierra y además se encuentra mucho más lejos del satélite (10 veces más lejos que la tierra). También el Sol produce un efecto gravitatorio menor. De todos modos la combinación vectorial de estas fuerzas produce un movimiento del satélite perpendicular al plano ecuatorial, es decir, en sentido norte o sur, dentro de la caja imaginaria. Esto produce una inclinación del plano orbital de 0° . Esta inclinación indeseable es el orden de 1° por año, medido hacia el plano de la eclíptica. 30% de esta inclinación se debe al efecto del Sol y 70% al efecto de la Luna.

Otra fuerza que produce cambios en la orientación y posición del satélite es la presión de la radiación solar sobre la superficie de su estructura. Esta fuerza acelera al satélite y su efecto es mayor en satélites que tienen celdas solares montada sobre paneles despleables que sobre satélites de configuración cilíndrica, ya que en el primer caso la superficie total expuesta a la radiación solar es mayor. Esta fuerza

debida a la radiación produce una variación en la posición longitudinal del satélite y al mismo tiempo un giro que lo desorienta respecto de la superficie del planeta. En el caso de los satélites de órbitas bajas, además de tener en cuenta esta radiación directa, hay que considerar el efecto de la radiación reflejada en la Tierra llamada albedo.

Además de las fuerzas externas que alteran la posición y orientación del satélite, el propio satélite genera también fuerzas perturbadoras. El simple hecho de que haya movimiento en sus antenas, paneles solares o del combustible que reside en los tanques, produce pares o fuerzas que lo afectan. Se debe tener en cuenta que a medida que la reserva de combustible se va agotando, el centro de masa del satélite va cambiando, y cuando se activa el sistema de propulsión para corregir errores de posición, al no aplicarse sobre el centro de masa, se producen pares perturbadores durante estas maniobras de corrección.

2.4.2 Efectos de la temperatura

Un satélite está integrado por diversas partes, fabricadas con distintos materiales y diseñadas para cumplir diferentes funciones. Por ejemplo, las celdas solares trabajan más eficientemente entre -100°C y -50°C , las baterías lo hacen bien entre 0°C y $+20^{\circ}\text{C}$ y los tanques de combustible entre $+20^{\circ}\text{C}$ y $+50^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto es necesario garantizar un control térmico en la estructura del satélite. El mecanismo para hacerlo es complejo ya que se requiere mantener un balance térmico entre la energía que emite el satélite y las radiaciones externas, agravado por el hecho de que estas radiaciones externas varían con la hora del día y la época del año.

Si bien el Sol es la principal fuente de radiación térmica perjudicial, a la vez muy necesario para generar electricidad a través de las celdas solares. Por otra parte, mientras una cara del satélite está orientada hacia el Sol y se calienta mucho, simultáneamente la cara opuesta está expuesta a temperaturas muy bajas. Típicamente la variación de temperatura va desde los -100°C hasta los $+120^{\circ}\text{C}$.

La Tierra también hace su contribución térmica perjudicial, pero a la vez es muy necesario para la generación de electricidad a través de las celdas solares. Para un satélite geoestacionario el efecto del albedo es despreciable frente al efecto de la radiación solar directa. No así en cambio para los satélites de órbita baja, en donde el efecto del albedo pasa a ser considerable.

2.4.3 Efectos del Vacío

Ya que un satélite geoestacionario se encuentra a casi 36000 km de altura, en ese lugar el vacío es casi absoluto, por lo tanto no sufre el efecto de fuerzas de rozamiento que es lo que desaceleren. Para el caso de los satélites de baja altura la situación es diferente, ya que a esa altura hay cierta resistencia atmosférica que hace frenar al satélite poco a poco, órbita tras órbita. Además de perder altura, convirtiéndose su órbita en una especie de espiral, debido a la fricción el satélite va tomando temperatura. Como al perder altura la velocidad aumenta, la fricción también aumenta y el proceso es acumulativo. Por lo tanto es necesario hacer correcciones con propulsores para evitar que el satélite se estrelle contra la Tierra al cabo de unos meses.

La rapidez con la que un satélite de órbita baja pierde altura depende de la velocidad con que se desplaza, pudiendo llegar a perder varios metros por día. La altitud promedio de un satélite de órbita baja es de 800-1000km, el doble de la que tiene una estación espacial tripulada (400-500 km), perdiendo en este último caso hasta unos 50 metros por día de altura.

Ya que a la altura de un satélite geoestacionario la presión atmosférica es casi cero, resulta que se produce una lenta sublimación de los materiales del satélite. Los átomos de la superficie se evaporan al ser expuestos al alto vacío y el efecto aumenta en los materiales que están expuestos a altas temperaturas. De esto se puede concluir que la construcción de un satélite requiere de mucho ingenio para evitar todos los problemas que se presentan en la órbita.

2.4.4 Efectos de la radiación

El Sol emite la mayor parte de su energía en forma de luz e radiación visible y radiaciones ultravioletas e infrarrojas. Además de estas radiaciones, emite partículas cargadas eléctricamente (protones, electrones, partículas alfa), conocidas como viento solar.

Los altos niveles de radiación ultravioleta y de partículas cargadas pueden alterar las propiedades de los materiales. La Tierra forma un escudo natural contra este efecto, debido al campo magnético, la capa de ozono de la ionosfera.

Un buen porcentaje de esta radiación, no sólo proviene del Sol sino de otras regiones del universo, queda atrapado geomagnéticamente, formando los cinturones de Van Allen que rodean la tierra. Consisten en dos cinturones concéntricos el más bajo contiene principalmente electrones. Para el caso de los satélites de órbita baja el principal problema son los protones, lo que obliga a diseñar al satélite con paredes gruesas para evitar que la radiación penetre al interior. Los elementos más sensibles a estas radiaciones son los semiconductores que poco a poco se van degradando hasta que finalmente falla y producen errores en el procesamiento de las señales.

Los Cinturones de Van Allen están situados a una altitud que varía entre 1000 y 30000 km sobre el nivel del mar, pero debido a una anomalía del campo magnético terrestre se produce la llamada *anomalía del Atlántico Sur* en la que la altitud baja hasta niveles de 200 km sobre el nivel del mar. Los satélites de baja altura tienen que cruzar esta zona durante el 10% del tiempo total que permanecen en órbita y si bien la atraviesan en unos cuantos minutos la radiación es mucho más intensa que en otras secciones de su trayectoria.

En cuanto a la radiación ultravioleta, ésta puede afectar adversamente a los plásticos, pinturas, adhesivos y otros materiales. La ionización que este tipo de radiación aumenta la conductividad de los aislantes y cambia las características de emisión y absorción de calor de los materiales protectores También afecta a la eficiencia de conversión de energía de las celdas solares, reduciéndose su rendimiento, al final de la vida útil en un 20 ó 30%.

2.4.5 Efecto de meteoritos

Los meteoritos son pequeños cuerpos celestes que quedaron como residuos luego de la formación del sistema solar y que viajan a velocidades de unos 20 km/s. Cuando ingresan a la atmósfera terrestre, debido al rozamiento con el aire, se desintegran antes de llegar al suelo y muchas veces lo que se ve es una minúscula bola iluminada llamada estrella fugaz. Si bien tienen un tamaño pequeño, como la velocidad es grande, el impacto de un pequeño meteorito sobre el satélite puede causarle daño. Por tal motivo, se debe construir al satélite con un blindaje grueso que lo proteja.

Además de los meteoritos, que son objetos naturales, existe la llamada chatarra espacial, generada por el hombre y que anda a la deriva por el espacio, siguiendo alguna cierta órbita. Entre esta chatarra se puede encontrar satélites que ya no funcionan, etapas de cohetes, fragmentos debido a explosiones, fragmento de satélites que han estallado. Esta chatarra se encuentra en diferentes planos orbitales y diferentes altitudes, incluyendo las zonas de las órbitas bajas y las geostacionarias.

Cuando estos objetos de desecho chocan entre sí o por algún motivo explotan, se producen nuevas fragmentaciones, generándose más objetos y más pequeños. Esto hace que aumente la probabilidad de colisiones entre ellos o con aparatos que están en órbita. Teniendo en cuenta que la velocidad promedio a que se desplazan estos objetos es de 10 km/s, el daño que puede causar al chocar contra un satélite puede ser importante.

2.4.6 Interferencia solar

Si bien los rayos del sol son muy útiles, a fin de alimentar con energía los paneles solares que generan electricidad, hay ciertas situaciones, producidas en ciertas épocas del año en que la alineación estación terrena-satélite-Sol no resulta favorable, como se muestra en la Figura 2. Cuando esto ocurre, la radiación solar

entra directamente a la antena parabólica de la estación terrestre interfiriendo con el enlace de bajada del satélite. Ésta radiación solar alineada produce ruido. EL grado de interferencia depende de la orientación del lóbulo principal de la antena de recepción con relación a la dirección hacia el satélite y el Sol. Ésta interferencia es máxima cuando el eje principal de la antena está alineado con la línea del satélite-Sol. La interferencia es un poco menor para pequeñas desviaciones de esta alineación. En esta situación, la temperatura de ruido introducida por el sol es de unos 25000°K.

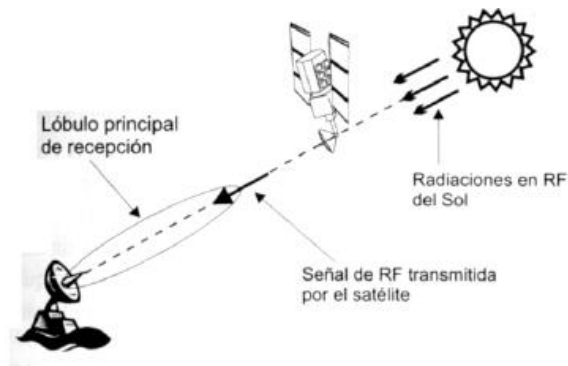


Figura 2: Interferencia solar cuando el satélite, el sol y la estación terrena están sobre una misma línea. Fuente [2], pág (12).

La duración de ésta interferencia puede ser de medio minuto hasta un cuarto de hora. La duración exacta se puede calcular y depende del ancho del haz de la antena receptora, de la latitud geográfica y de la fecha. Este deterioro es gradual, a medida que el lóbulo principal de la antena se va acercando a la línea satélite-Sol. Éste fenómeno ocurre dos veces al año, durante aproximadamente 7 días seguidos. Ocurre alrededor de 21 de marzo y 21 de septiembre.

Como la luz solar directa puede afectar a la antena receptora, se la suele pintar con una pintura no reflectiva, de manera que los rayos incidentes no se concentren en el alimentador de la antena.

2.4.7 Eclipses

Durante ciertos períodos de su operación, el satélite geostacionario se ve expuesto a eclipses que lo oscurecen, y en la situación, al no recibir luz en los paneles solares, se debe recurrir a fuente de energías de back up para seguir funcionando. Esta fuente de respaldo está conformada por baterías que se cargan cuando las celdas solares reciben energía luminosa del Sol y se descargan durante los eclipses, unos sensores detectan la disminución de la energía suministrada por las celdas solares y entonces automáticamente entra en servicio el sistema de baterías. Estas baterías comienzan a descargarse, debido a su operación, hasta que el eclipse termina y nuevamente el sensor detecta suficiente nivel de luminosidad, desactivando el back up de las baterías y poniendo de nuevo el servicio de las celdas solares que volverán a cargar las baterías.

Los eclipses ocurren cuando la Tierra o la Luna se interponen entre el Sol y el satélite como lo ilustra la Figura 3. Estos eclipses no ocurren durante todo el año sino durante los 21 días anteriores y los 21 días posteriores al equinoccio. Cada día el eclipse va durando un poco más, alcanzando un máximo de 70 minutos (el día 21) y luego comienza a acortarse hasta desaparecer, 21 días más tarde, Figura 4.

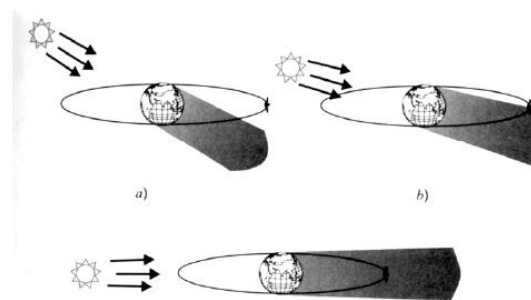


Figura 3: Posición relativa del sol y la tierra respecto al satélite. (a) varias semanas antes del eclipse. (b) durante el comienzo del eclipse. (c) durante un equinoccio (21 de marzo o 21 de septiembre). Fuente [2], pág (13)

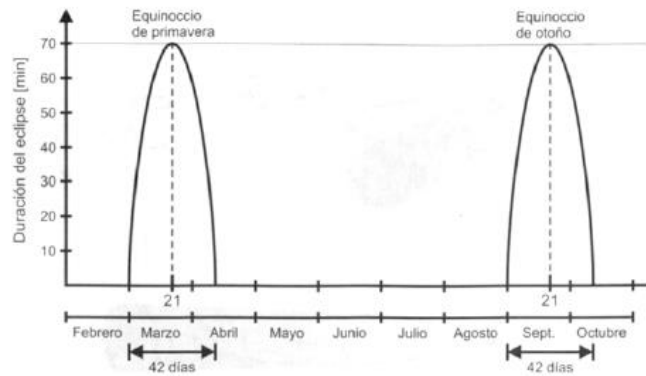


Figura 4: Gráfica que muestra la duración de los eclipses. Fuente [2], pág (13).

2.5 Subsistemas que componen un satélite

Un satélite puede dividirse en dos partes fundamentales para su operación: la estructura de soporte con los elementos de apoyo a dicha función, denominada plataforma. Y, el conjunto de equipos y antenas que procesan las señales de comunicación de los usuarios como función substancial, denominado carga útil o de comunicaciones.

La carga útil tiene el amplio campo de acción de la cobertura de la huella del satélite y del empleo de las ondas de radio en una extensa gama de frecuencias que constituyen la capacidad de comunicación al servicio de los usuarios, en tanto que la acción de los elementos de la plataforma no se extiende fuera de los límites del propio satélite, salvo en la comunicación con el centro de control.

La carga útil o de comunicaciones está compuesta del subsistema de antenas y el subsistema de comunicaciones. Su importancia reside en que son las partes que el dueño del satélite puede modificar de acuerdo al propósito para el que será destinado el aparato. Parámetros como potencia, ancho de banda y tipo de comunicación, son controlados por estos sistemas y dependen del usuario más no del satélite.

En cambio, la plataforma es el conjunto de subsistemas que forman las características básicas dadas por el fabricante, se podría decir que es la parte que define al modelo, por lo que se utilizan como una plantilla en la cual serán incluidas distintas configuraciones de carga útil de acuerdo al uso al que será destinado. Está conformado por los subsistemas de control térmico, energía eléctrica, propulsión, posición y orientación, estructural y el subsistema de rastreo, telemetría y comando principalmente.

Siendo las comunicaciones una parte esencial de este trabajo, es necesario mencionar en qué consiste la carga útil y la plataforma del satélite y cuáles son sus principales funciones de manera que se explicará por separado cada subsistema.

2.5.1 Plataforma del satélite

La plataforma es la estructura responsable de sustentar, proporcionar energía, proteger, mantener correctamente orientada y supervisar el funcionamiento adecuado de la carga útil del satélite [3]. Los satélites cuentan con un conjunto de subsistemas integrados para llevar a cabo todas sus funciones. Los satélites necesitan energía eléctrica, disipar calor, corregir su posición y movimiento, mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistentes al medio en el que se encuentran, y lo más importante, poder comunicarse con la Tierra.

Cada subsistema es trascendental y su mal funcionamiento podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto, por lo que es importante mencionar cada uno de ellos para tener una idea más amplia de lo que son los satélites y como su estructura determinará las funciones que es capaz de realizar. Dentro de la plataforma se encuentran los siguientes subsistemas de satélite para cumplir con estas diversas tareas:

2.5.1.1 Subsistema de estructura

La estructura de la plataforma sirve de soporte tanto para sus demás elementos como para la carga útil. Debe tener la suficiente resistencia para soportar las fuerzas y vibraciones del lanzamiento y a la vez un peso mínimo conveniente. Está construida con aleaciones metálicas ligeras y con compuestos químicos de alta rigidez y bajo coeficiente de dilatación térmica. Esta armazón es la que sustenta todos los demás sistemas de la nave.[3]

Durante las diversas etapas de su lanzamiento y transferencia de órbita, el satélite se enfrenta a vibraciones, aceleraciones, esfuerzos aerodinámicos, fuerzas centrífugas de los propulsores y esfuerzos mecánicos. Y cuando llega a su posición en la órbita final, el satélite se ve afectado por impactos de micro meteoritos, presiones de radiación de las antenas, fuerzas de atracción de la Tierra, la Luna y el Sol, y empujes generados por su propio subsistema de propulsión. Por ello cada una de las demás partes que lo componen debe ser diseñada para que soporte esas condiciones durante la colocación en órbita y el tiempo esperado de vida.

Los diseñadores de satélites tienen a su alcance diversidad de materiales para fabricar la estructura, así como muchos conceptos geométricos derivados de la experiencia obtenida en aeronáutica e ingeniería espacial a través de los años. Los materiales más comunes para este fin son aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero y varios plásticos reforzados con fibra de carbón; de éstos, el berilio es el más caro, y por tanto su utilización es limitada.

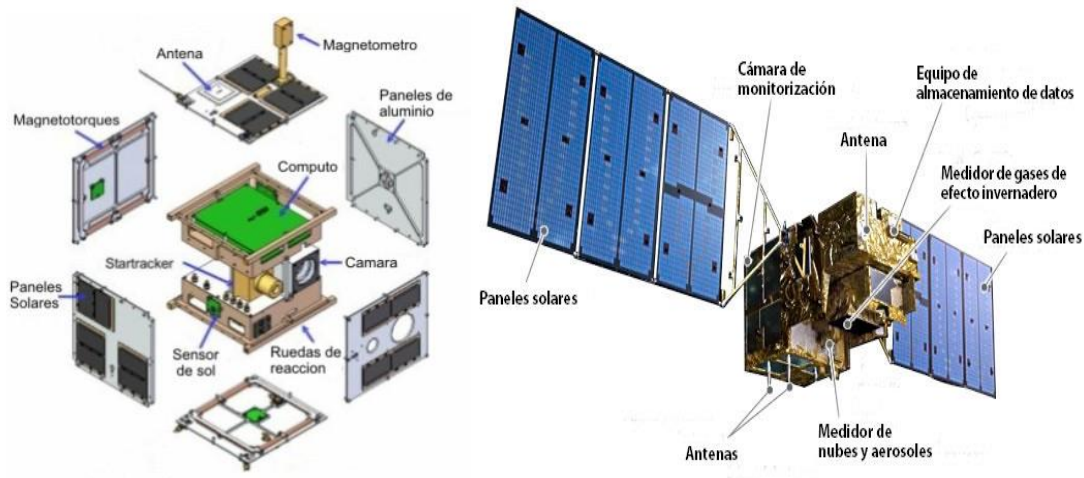


Figura 5: Componentes de un satélite. Fuente [3], pág (10).

2.5.2 Subsistema de propulsión

El subsistema de propulsión está conformado por un cohete principal que le proporciona impulso de aceleración y pequeños cohetes impulsores que le permiten frenar y modificar su posición y altitud. Para el caso de alteraciones importantes de los parámetros orbitales, las necesidades propulsoras son proporcionales y por tanto necesitará un motor lo suficientemente grande. Por eso, la órbita final de los satélites admite luego pocas variaciones y su arribada a la misma suele ser proporcionada por un llamado motor de apogeo o fase final del cohete portador que finalmente es separada del satélite antes de su entrada en servicio, que permite al satélite llegar a su órbita de destino después de ser liberado por el vehículo de lanzamiento si este no lo hace directamente. Los satélites pueden emplear propulsantes líquidos, gas o iones. En los satélites geoestacionarios típicos los propulsantes químicos requeridos para conservar su posición durante su vida representa el 20 o 40% de masa adicional a la de nave sin combustible.

La cantidad de propulsante disponible para orientación y maniobras orbitales es determinante para establecer la vida útil prevista del satélite en órbita, naturalmente en proporción directa. Para el caso de los satélites geoestacionarios, por

ejemplo, el mantenimiento de su posición viene a suponer al año un total acumulado de incremento de velocidad de unos 50 m/seg de correcciones.

La eficiencia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. El impulso específico se define como el empuje producido por cada unidad de peso del propulsante que se consume cada segundo. Es de esperarse que si se desea reducir al mínimo posible el peso total del combustible almacenado en el satélite, para economizar los costos del lanzamiento, es deseable utilizar propulsores que funcionen con combustible de impulso específico muy alto.

Los satélites estabilizados por giro sólo necesitan cuatro propulsores pequeños situados sobre la sección giratoria; dos son radiales y los otros dos son axiales, con relación al cilindro giratorio. En cambio, los satélites triaxiales, al no tener estabilidad propia por giro, requieren de un mayor número de propulsores; típicamente llevan 12, distribuidos en las caras norte, sur, este y oeste de la caja central del aparato.

Hay propulsores químicos y eléctricos, pero los primeros son los de mayor uso porque proporcionan niveles de empuje mucho más grandes que los eléctricos.

2.5.3 Subsistema de potencia y control térmico

Es el subsistema encargado de proporcionar energía a todos los sistemas del satélite. Los satélites utilizan dos fuentes de energía: la luz solar convertida en electricidad por medio de paneles solares y baterías recargables, celdas de combustible o, incluso, baterías de energía nuclear, para los períodos en los que no se cuenta con luz solar.

Las diversas partes del satélite requieren rangos distintos de temperatura para operar eficientemente, por lo que se requiere un equilibrio térmico del conjunto para que dichos rangos se conserven. El calor generado por los amplificadores de

potencia, la energía absorbida del Sol y la Tierra por el satélite y demás factores intervienen en el equilibrio y deben considerarse.

La energía proveniente de la Tierra la integran dos tipos de radiación: la propia de ella y la del Sol reflejada por su superficie. La suma del calor generado internamente por el satélite (en especial por el uso de amplificadores de alta potencia TWT) más el producido por la absorción de energía del Sol y la Tierra, menos el radiado por el satélite hacia su interior, se debe mantener lo más constante posible, con pocas variaciones. Debe ser capaz de mantener un equilibrio durante eclipses, en donde el satélite puede enfriarse bruscamente, y de nuevo volverse a calentar al estar nuevamente expuesto a los rayos del Sol. También existe una transferencia de calor externa provocada por radiación y una interna generada entre sus parte por medio de la conducción.

Para lograr un equilibrio térmico, se han diseñado distintos materiales que se utilizan para proteger cada una de las partes del aparato. Por ejemplo, las caras norte y sur de los satélites triaxiales van cubiertas con un reflector óptico de cuarzo, semejante a un gran espejo, que rechaza el calor exterior y al mismo tiempo lo transfiere del interior al vacío; los dispositivos que generan más calor se colocan junto a él, en el interior. Estos espejos actúan como filtros, ya que reflejan las radiaciones de luz visible y ultravioleta provenientes del Sol y permiten el paso de la radiación infrarroja de los aparatos electrónicos hacia el espacio. También se acostumbra proteger a las antenas y demás partes externas con materiales aislantes que les protege del calor o de los cambios bruscos de temperatura. Hay una gran variedad de cobertores, de diferentes colores y materiales, entre ellos krapción, kevlar, mylar, dracón, etc.

Los colores juegan un papel importante en el acabado de las partes del satélite, dependiendo del lugar que cada una de ellas ocupe en la estructura, al igual que las propiedades de absorción y emisión de los materiales. Tanto la pintura blanca

como elemento frío frente al Sol, como la pintura negra como elemento caliente, son ejemplos del uso de los colores en el exterior de un satélite.

El verdadero problema del equilibrio térmico se presenta durante un eclipse. El satélite sufre un enfriamiento drástico provocado por una modificación de la temperatura resultante total, producto del bloqueo de los rayos del Sol. Esta disminución de la temperatura puede provocar un malfuncionamiento de varios componentes, destacando a las baterías, que son responsables de suministrar energía eléctrica al satélite durante el eclipse, y por lo tanto es preciso contar con algún sistema de calefacción que se encienda cuando la temperatura comienza a disminuir de forma significativa. En estos casos, se utilizan los llamados caloductos o tubos de calor, que distribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto. Estos caloductos operan bajo el principio de la evaporación y condensación sucesivas de algún fluido en los extremos de un tubo; en el extremo donde está la fuente de calor el fluido se evapora, y en el otro se encuentra un radiador que transmite el calor al exterior del tubo, hacia las partes frías; esto ocasiona que el fluido se condense, pero al recircular en el interior del caloducto pasa nuevamente a la condición de evaporación, y así de forma sucesiva.

2.5.4 Subsistema de Control y orientación

Está constituido por las partes y componentes que permiten conservar la precisión del apuntamiento de la emisión y recepción de las antenas del satélite dentro de los límites de diseño, corrigiendo no sólo las desviaciones de estas por dilatación térmica e imprecisión de montaje, sino de toda la nave en su conjunto.

Para poder realizar las funciones de comunicaciones, es necesario mantener estable la orientación de la estructura del satélite con respecto a la superficie de la Tierra, para mantener las zonas geográficas de cobertura en servicio, esto se logra por medio de las técnicas de estabilización por giro o de estabilización triaxial.

En la estabilización por giro, el satélite gira para conservar el equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas permanecen orientadas hacia la Tierra. En algunos casos las antenas también giran, pero en sentido contrario al giro del satélite, con lo que parece que éstas no se mueven viéndolas desde la Tierra. Con el tiempo, los sistemas de estabilización por giro han evolucionado, y hoy solo una parte del cuerpo de los satélites gira mientras que el resto de la estructura se mantiene fijo; la unión entre la sección que gira y la que no gira es un mecanismo de rodamiento y transferencia de energía eléctrica con muy poca fricción.

Las fuerzas perturbadoras del espacio no dejan de mover al satélite sobre su órbita y en su orientación con respecto a la Tierra. Por lo que es necesario determinar, en todo momento, dónde está el satélite y cuál es su orientación. Para ello es necesario conocer la distancia a la que se encuentra y en qué dirección o ángulo con relación a un punto de referencia sobre la Tierra.

La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite, que éste retransmite después, y la diferencia que se detecta en el centro de control entre las fases de la señal transmitida y recibida, junto con el tiempo de retraso, es un indicador de la distancia que se tiene entre el satélite y el centro de control.

El ángulo o dirección se mide por medio de interferometría, empleando dos estaciones separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada una de ellas. Otra técnica para medir el ángulo es la de máxima recepción, y tiene la ventaja de que sólo requiere una estación terrestre y no dos; opera bajo el principio de orientar una antena hacia el satélite e ir la moviendo poco a poco hasta que se detecte el nivel máximo de radiación. Cuando se obtiene la posición máxima de recepción se considera que la antena de la estación terrena está perfectamente orientada hacia el satélite, y por lo tanto se puede conocer la dirección o ángulo en que éste se encuentra. Sin embargo, el método de interferometría es más preciso, aunque en lo económico, es preferible utilizar el segundo método.

Para la determinación de la orientación del satélite con relación a la superficie terrestre se pueden utilizar sensores tales como, los de Sol, de Tierra y de RF. También existen sensores estelares, que son muy precisos, pero más pesados, y generalmente se evitan.

En la actualidad se cuenta con sensores más precisos. Los sensores de radiofrecuencia (RF) que detectan y miden las características de radiofaros o señales radioeléctricas transmitidas desde una estación terrena; los sensores determinan con gran precisión la diferencia angular que hay entre el eje principal de radiación de la antena del satélite y la línea o trayectoria de las ondas de radio del radiofaro o haz piloto.

La corrección de la posición y orientación se realiza por medio de un actuador o conjunto de actuadores montados en el satélite a partir de la información procesada por el subsistema de rastreo, telemetría y comando, aunque una buena parte del procesamiento y generación de acciones correctivas se lleva a cabo por una computadora a bordo.

Entre los tipos de actuadores se tiene los volantes estabilizadores o giroscopios, cuya velocidad de rotación se puede cambiar para producir un par de corrección. También se cuenta con bobinas que generan un momento magnético mediante una corriente eléctrica cuando ésta interactúa con el campo magnético de la Tierra, produciéndose así el par deseado de corrección. Por último, en dado caso que las correcciones tengan que ser a gran escala, se utilizan los propulsores, ya que los otros actuadores solo sirven para correcciones pequeñas debido a los pares generados, por lo que es necesario hablar más a fondo sobre los propulsores.

2.5.5 *Subsistema de telemetría y seguimiento*

Se encarga de la operación y posición del satélite a control remoto por medio del envío de órdenes para su ejecución en diversos subsistemas del satélite. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en cientos de puntos de prueba, que miden cantidades tales como voltajes, corrientes, presiones, potencia de salida de amplificadores, posición de interruptores y temperaturas, etc. Las lecturas obtenidas son convertidas en señales digitales y enviadas hacia la Tierra.

El rastreo se efectúa mediante la transmisión de varias señales piloto, denominadas tonos, desde la estación terrena de control hacia el satélite. Normalmente se utilizan de seis a siete tonos distintos, cuya frecuencia es de unos cuantos kHz, y que modulan sucesivamente en fase a la señal portadora de la estación terrena; el satélite recupera los tonos y los demodula con ellos a su propia portadora, para retransmitirlos hacia la Tierra en donde son detectados por el centro de control.

Para la transmisión de éstas señales, se utiliza por lo general una antena omnidireccional en especial, que durante el transcurso de la vida útil del satélite está conectada a un mismo amplificador a bordo del satélite. La información es digitalizada, multiplexada con TDM y transmitida a la Tierra en formato PCM. Son señales de poco ancho de banda por lo que no es necesario utilizar un transpondedor exclusivo para estas señales, sino que se utiliza uno cualquiera de los utilizados para dar servicios, utilizando el mismo amplificador que cualquiera de las señales de comunicaciones con las que trabaje el satélite.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto, como cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algún interruptor, conmutar de transpondedor, modificar la orientación de la estructura, o bien extender los paneles solares, mover las antenas y encender el motor de apogeo. Todas estas señales van codificadas y cifradas. Los

satélites modernos también cuentan con un procesador de control a bordo, que internamente genera determinados comandos para realizar funciones autónomas.

2.5.6 Carga útil del satélite

La carga útil o de comunicaciones está compuesta del subsistema de antenas y el subsistema de comunicaciones. Su importancia consiste en que son las partes que el dueño del satélite puede modificar de acuerdo al propósito para el que será destinado el aparato. Parámetros como potencia, ancho de banda y tipo de comunicación, son controlados por estos sistemas y dependen del usuario más no del satélite.

La carga útil del satélite es en donde se encuentra los elementos necesarios para cumplir con la misión espacial. Es la parte del satélite que se encarga de la captación de la información útil, así como la recepción, amplificación y retransmisión de las señales. Los instrumentos que conforman la carga útil del satélite pueden ser de diferentes clases según la tarea que el satélite deba desempeñar tales como cámaras, telescopios, sensores, antenas, amplificadores, entre otros.

En el caso de los satélites de telecomunicaciones la carga útil se encuentra constituida por los subsistemas de antenas y comunicaciones. Las antenas tienen por objeto recibir y transmitir señales de radiofrecuencia desde y hacia zonas de cobertura del satélite, mientras que la comunicación se encuentra basada en la amplificación de las señales recibidas por las antenas de recepción, modificación de frecuencia y de entregarlas a las antenas de transmisión para reenviarlas a la Tierra.

2.5.7 Subsistema de antenas

Como se mencionó anteriormente el objetivo de las antenas es recibir las señales de radiofrecuencia provenientes de la Tierra o de otros satélites, y una vez que han sido amplificadas, retransmitirlas de regreso hacia otro destino sea a la superficie

de la Tierra o hacia otro satélite, concentrada en un mismo haz de potencia. Dentro de un satélite, las antenas son el puerto de entrada-salida de los elementos electrónicos ubicados en el interior del satélite. Son la interface o la etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viaja por el espacio y las señales que circulan dentro de sus subsistemas de comunicación y de rastreo, telemetría y comando.

Aun cuando un satélite puede usar diversos tipos de antenas, lo más común es la utilización de platos parabólicos. El uso de esta clase de antenas por parte de la mayoría de los satélites antiguos hace que emitan haces de radiación simétricos, por lo que su huella de cobertura presenta un patrón circular. Sin embargo, los satélites más recientes utilizan haces de contorno irregular, que generan huellas de cobertura nacional, regional o hemisférica con el fin de dirigir la mayor parte de la potencia del haz hacia las zonas pobladas.

2.5.8 Subsistema de comunicación

Entre la antena receptora y la antena transmisora, se encuentra lo que conocemos como subsistema de comunicaciones. Las señales que llegan al satélite, son recibidas por las antenas receptoras y, en el interior del satélite, son separadas por grupos, amplificadas, tal vez procesadas digitalmente, y son trasladadas a frecuencias más bajas; posteriormente, son amplificadas aún más y reagrupadas, para que todas salgan de regreso hacia la Tierra a través de la antena transmisora. Al grupo de señales se le conoce como canal de banda ancha. Cada uno de estos canales tiene un ancho de banda de varios MHz y puede contener uno, algunos o cientos de canales de datos, de telefonía o de televisión, según la tasa de transmisión y técnicas empleadas de modulación, multiplexación y acceso múltiple. A cada uno de estos canales de banda ancha, se les conoce como transpondedor. Un satélite, generalmente tiene 12 transpondedores para una determinada banda de trabajo y polarización. Un transpondedor es toda la cadena de unidades o equipos interconectados en serie del canal de banda ancha, desde la antena receptora hasta la antena transmisora, dentro del satélite convienen transpondedores de polaridad vertical y horizontal, que deben

ser capaces de captar todas las señales terrestres dentro de cierta banda de frecuencia, procesarlas y reenviarlas.

La importancia del transpondedor reside, principalmente, en las aplicaciones para las comunicaciones, ya que de acuerdo al número de transpondedores y a la capacidad de estos, se determina la potencia disponible para ofrecer servicios. En la figura 6 se puede observar la estructura general de un transpondedor satelital.

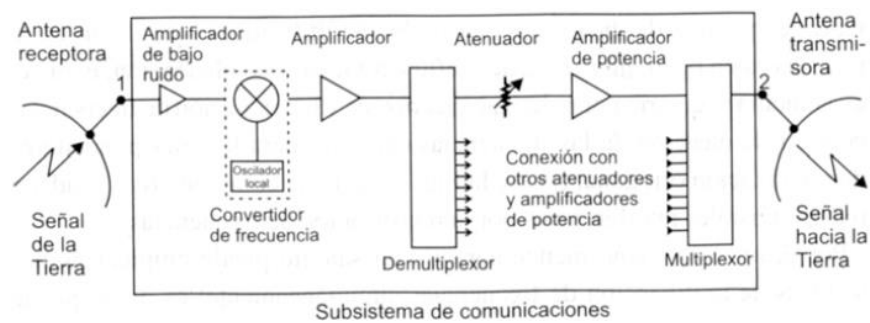


Figura 6: Estructura general de un transpondedor satelital. Fuente [2], pág. (20).

2.6 Telemetria y Telemetría en satélites de comunicación

En una nave espacial el subsistema de telemetría, rastreo y control (TT&C por sus siglas en inglés: Telemetry, Tracking and Command), como se explicó de forma breve anteriormente, se encarga del intercambio de información con el centro de control de operaciones en tierra para mantener el funcionamiento eficiente de la nave espacial. A través del subsistema de TT&C se monitorea la operación de todos los subsistemas y procesos que componen la nave espacial así como su posición y se envían órdenes para que ejecute cualquier cambio. Aunque no es parte del TT&C propiamente, la computadora de vuelo puede coordinar las operaciones de este subsistema ya que en algunos casos puede servir para administrar las mediciones del sistema de telemetría, así como decodificar las

órdenes que envía el centro de control a la nave. Al respecto, existe la posibilidad de que el TT&C contenga su propia computadora independiente para efectuar las funciones anteriores. En todos los casos, el sistema de TT&C cuenta con módulos de transmisión y recepción de datos a través de señales de radiofrecuencia. El TT&C es un sistema distribuido, ya que parte de él se encuentra en la nave espacial y parte en el centro del control en tierra. Las dos partes trabajan de manera coordinada para enviar y recibir señales, interpretarlas y tomar acciones de acuerdo al significado de los datos. Por ejemplo, los datos de telemetría recibidos en el centro de control pueden originar que se envíen órdenes a la nave espacial para corregir alguna anomalía o iniciar una operación de la misión. Así mismo, las órdenes enviadas a la nave espacial generarán cambios en los datos de telemetría que deben ser revisados y verificados por el centro de control. Otras consideraciones importantes en diseño del TT&C son el encriptamiento de las señales, la redundancia tanto en los subsistemas como en la transmisión de la información y las frecuencias de operación.

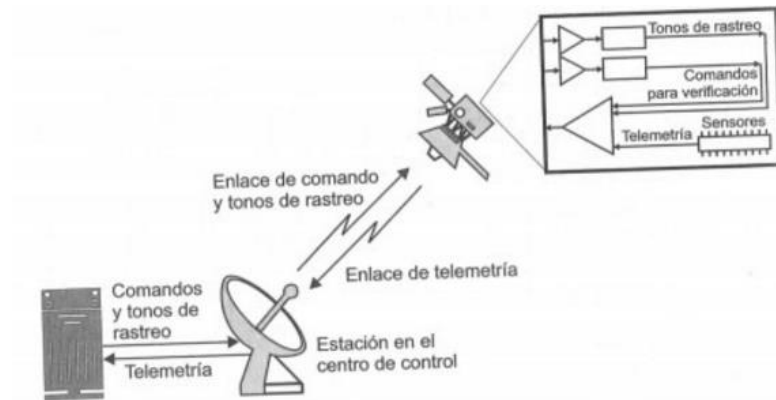


Figura 7: Telemetría y telecomando en satélites de comunicación, Fuente [22], pág (1)

2.6.1 Telemetría

La telemetría se utiliza para supervisar el estado de una nave espacial mediante el envío de información al centro de control de operaciones sobre parámetros de los otros subsistemas así como las anomalías detectadas por la computadora de vuelo. Estas mediciones describen el estado de la nave espacial, subsistema por subsistema y se refieren a parámetros tan variados como temperaturas, voltajes y corrientes, cantidad de combustible y parámetros de apuntamiento, entre muchos otros. Por ejemplo, en el caso del subsistema de potencia se podrían estar enviando los voltajes de salida y las corrientes suministradas por los paneles solares en todo momento. Una nave espacial típica puede estar enviando datos de alrededor de 100 sensores o transductores en un momento dado y generalmente la transmisión de estos parámetros se realiza a baja velocidad, del orden de 150 a 4000 bps.

Un componente esencial en los sistemas de telemetría aeroespacial es el transductor, que convierte estímulos físicos como la temperatura, la presión atmosférica o la vibración en señales eléctricas. Otro elemento fundamental es el sistema de comunicación que hará llegar esa información a la estación terrestre. En el caso de los sistemas aeroespaciales, la transmisión ocurre a través de ondas de radio. Posteriormente, la información es almacenada en formatos diversos, y posteriormente, procesada a través de computadoras.

La telemetría aeroespacial contempla la medición de datos a través de varios canales. Luego, la información es combinada a través de un proceso conocido como multiplexing, en el cual se produce una señal compuesta, ya sea analógica o digital, que será utilizada para la transmisión de los datos.

TABLA 2: BANDAS DE FRECUENCIAS EMPLEADAS EN TT&C. Fuente [4],
pág. (7).

Banda	Tierra → Satélite (Uplink)	Satélite → Tierra (Downlink)	Categoría	Usos
S	2025-2110	2200-2290	A	SR, SO, EES
	2110-2120	2290-2300	B	SR
C	5700-6725	3400-4200	A	SO
X		8025-8400	A	EES (downlink)
	7145-7190	8400-8450	B	SR
	7190-7235	8450-8500	A	SR
	7250-7750	7900-8400	A	SO (militar)
Ku	12750-14500	10700-12800	A	SO (en banda comunicaciones)
	17300-18300			
	13250-13400	14400-14470	A	SR
	16600-17100	12750-13250	B	SR

Cat. A: Misiones próximas a Tierra (hasta 2×10^8 km)
Cat. B: Misiones de Espacio Profundo (interplanetarias)

S.O.: Operaciones espaciales
S.R.: Investigación Espacial
E.E.S.: Exploración de la Tierra

2.6.2 Enlace de la telemetría satelital

Es conveniente que los requerimientos básicos a considerar en el diseño del sistema de telemetría correspondan a los objetivos siguientes:

- Proveer el máximo de información respecto a los subsistemas del satélite.
- Operar con un alto grado de confiabilidad.
- Asegurar una alta integridad y coherencia de los datos producidos.
- Caracterizarse por un alto grado de flexibilidad en su configuración.
- Requerimientos mínimos de energía.
- Requerimientos mínimos en cuanto a costos de equipamientos terrestres compatibles, incluyendo la localización y caracterización de la frecuencia recibida, adecuados al perfil técnico de los usuarios de las estaciones terrenas.

La determinación de la distancia entre un satélite y una estación terrestre normalmente se logra mediante el uso de tonos o pseudo-códigos.

El tono o código se modula a la frecuencia de subida y cuando el satélite lo reconoce, el subsistema de Telemetría añade el mismo tono o código para el enlace

descendente. El segmento de comandos puede entonces calcular el tiempo de ida y vuelta utilizado en el proceso y calcular la distancia entre la estación terrena y el satélite. Una vez establecida, la ubicación real del satélite se puede determinar mediante el uso de la información que señala del satélite para determinar el azimuth del satélite y los ángulos de elevación

Una vez garantizada la coherencia de los datos a transmitir, se estima conveniente contar con un sistema de almacenamiento de dichos datos, a fin de optimizar la ventana o lapso de tiempo en que la transmisión será factible. Esta función puede ser responsabilidad del subsistema de telemetría, o de cada subsistema y/o de la computadora a bordo, dependiendo de la misión. En particular, si se trata de un vehículo geostacionario con transmisiones inmediatas, la necesidad de un almacén de datos podría soslayarse. Otra posibilidad es que el vehículo forme parte de una constelación de satélites, que permita la intercomunicación entre ellos hasta abrir una ventana de transmisión de datos hacia una estación terrena.

Las frecuencias típicas para los sistemas de telemetría incluyen la banda S (2.2 – 2.3 Ghz), la banda C (3.7 – 4.2 GHz) y la banda Ku (11.7 – 12.2 GHz).

2.7 Sensores ubicados en la plataforma satelital

Un sensor es un dispositivo que detecta manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos o químicos, llamadas variables de instrumentación, como la temperatura, la intensidad luminosa, la distancia, la aceleración, la inclinación, el desplazamiento, la presión, la fuerza, la torsión, la humedad, el pH, etc. y convierte estos fenómenos físicos o químicos en un cambio de alguna de las siguientes variables, por ejemplo: resistencia eléctrica (como una RTD), capacidad eléctrica (como un sensor de humedad), tensión eléctrica (como un termopar), corriente eléctrica (como un fototransistor), etc. La diferencia de un sensor respecto a un transductor, es que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Recordando que la señal que nos entrega el sensor no solo sirve para medir

la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5V DC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable sensada dentro de un rango (span), para fines de control de dicha variable en un proceso. Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo.

Los sensores son dispositivos que cambian de estado cuando ocurre un evento, como por ejemplo el cierre de una válvula, mientras que los transductores sirven para efectuar mediciones a partir de convertir energía de una forma a otra, generalmente una variable eléctrica como resistencia, capacitancia, voltaje o corriente. Las mediciones realizadas generalmente se convierten a formato digital a través de un Convertidor analógico-digital, para su almacenamiento en la computadora de vuelo y posterior transmisión.

Aunque las naves espaciales modernas operan de forma autónoma, en muchas ocasiones necesitan recibir órdenes de tierra. Un ejemplo de una situación que requiere control es el ajuste de la órbita de un satélite geoestacionario. Durante esta operación, el satélite debe ser estrechamente controlado desde el centro de control de operaciones. Una vez que se ajusta la posición orbital, el satélite puede volver a operar de forma autónoma.

Existen tres tipos fundamentales de sensores, de acuerdo al fenómeno físico en el que se basan:

2.7.1 Sensores ópticos.

Que detectan la dirección relativa de un cuerpo planetario o estelar. Un sensor óptico trata de deducir la dirección (respecto al sistema de ejes en el que se encuentra montado, es decir, ejes de un cuerpo) de un cuerpo planetario o estelar de referencia, tales como el Sol, la Tierra o una estrella. Si bien, en general, estos

sensores determinan una dirección (es decir dos ángulos), en algunos casos de sensores más sencillo se encuentra un único ángulo.

Un sólido rígido tiene tres grados de libertad en su actitud, y puesto que típicamente se obtendrán bastantes medidas, el problema de la estimación estará sobre-determinado. Para resolverlo se emplean métodos estadísticos y/o filtros de estimación, como por ejemplo Filtro de Kalman, si también se usan giroscopios.

2.7.2 Sensores de radiación solar

Determinan la dirección en la que se encuentra el Sol. Consiste en una “cámara oscura” fija al vehículo y prevista de una pequeña ranura de entrada con una retícula de detectores fotoeléctricos al fondo de la cámara. Según los detectores de la retícula se activen, se puede calcular el ángulo de incidencia.

Los sensores solares son dispositivos fotovoltaicos en los que se produce una corriente eléctrica cuya magnitud depende de la dirección de la radiación solar sobre ellos. Ésta dirección se relaciona con la deseada respecto a la Tierra, esto permite medir el ángulo entre la dirección en la que se halla el Sol y uno de los ejes del cuerpo del satélite. Son utilizados en especial, durante la colocación del satélite en órbita, debido a la dificultad de utilizar a la Tierra como referencia.

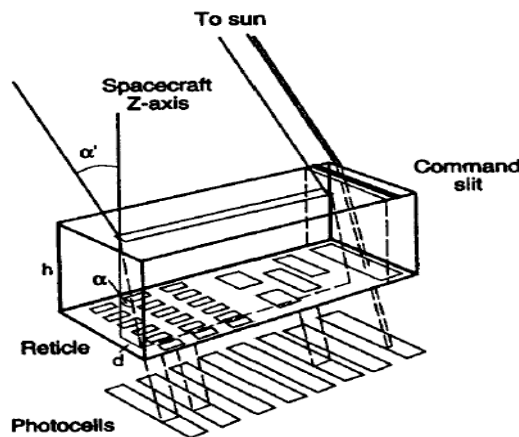


Figura 8: Esquema de un sensor de radiación solar. Fuente [20], pág. (29).

2.7.2.1 Sensores digitales de aspecto solar (DSADs)

Son similares a los sensores de radiación solar, pero mejoran su precisión. Usan una celda de sensores fotoeléctricos más sensibles, capaces de determinar además del ángulo, la intensidad de la radiación incidente. Una vez conocida la dirección y el ángulo de máxima intensidad, se pueden calcular la dirección en la que se encuentra el centroide del Sol, con una gran precisión de segundos de arco.

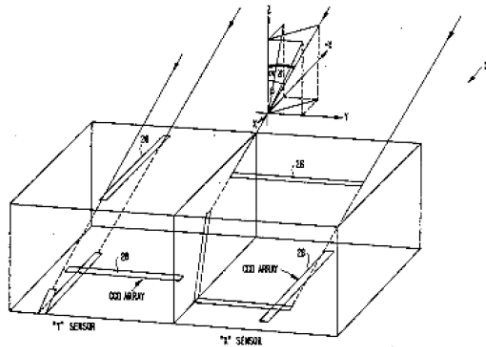


Figura 9: Esquema de un sensor digital de aspecto solar. , fuente [20], pág. (31).

2.7.4 Sensores de horizonte terrestre (sensor tipo barrido)

Son aquellos que determinan la dirección en la que se encuentra la Tierra. Se basan en que la Tierra refleja la radiación solar en el espectro infrarrojo. Su precisión está limitada en parte por la imprecisión de la línea de horizonte. Existen dos tipos de sensores de horizonte terrestre: Los estáticos que detectan el “dibujo” del horizonte terrestre y los de barrido, que se están en continua rotación y de esta manera encuentran cuando empieza y cuando acaba el horizonte. En la órbita GEO tiene una precisión de 0.01 grados.

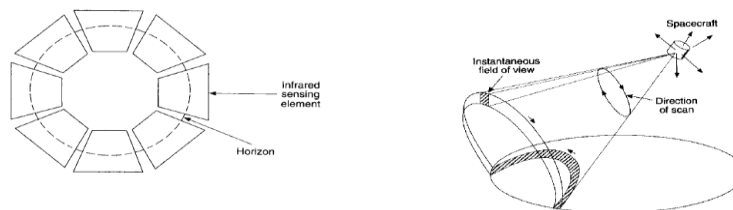


Figura 10: Esquema de un sensor de horizonte terrestre. Fuente [20], pág. (33).

2.7.5 Sensores de estrella.

Determinan la dirección en base a las estrellas. Los star trackers o rastreadores encuentran una estrella concreta y la siguen. Los star cameras buscan grupos de estrellas, cuyas posiciones son comparadas con mapas estelares para determinar la actitud. Puesto que la intensidad de la radiación emitida por una estrella suele ser baja, requiere dispositivos muy sensibles o amplificadores. Estos tipos de sensores no son útiles en vehículos estabilizados por rotación, puesto que a velocidades angulares grandes dejan de ser efectivos.

2.7.6 Sensores mecánicos

Miden la velocidad angular del vehículo respecto a un sistema de referencia inercial.

2.7.6.1 GIRÓSCOPO.

Miden la velocidad angular en un eje en configuración “strap-down”. Tres giróscopos en ejes perpendiculares podrán calcular todas las componentes de la velocidad angular, el principal problema de los giróscopos es que, aunque son capaces de realizar medidas de gran precisión (desde 1 grado por hora hasta 10 segundos de arco por hora), no proporcionan una medida angular, sino de velocidad angular. Ésta medida debe ser integrada en el tiempo (usando ecuaciones diferenciales cinemáticas) para obtener la actitud. Los sensores giroscópicos siempre se usan en combinación con otros sensores evitando que la acumulación de pequeños errores provoquen un error de deriva en la medida. Sin embargo no son muy deseables debido a su elevado ancho de banda. Existen también los giróscopos no mecánicos, como giróscopos ópticos basados en principios de interferometría y los giróscopos eléctricos basados en sistemas electromecánicos de baja precisión.

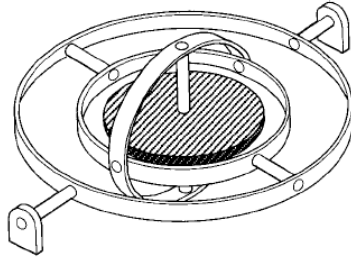


Figura 11: Esquema de un giroscopio, fuente [20], pág. (35).

2.7.7 *Sensores magnéticos.*

Sólo se pueden usar en la proximidad (LEO) de planetas con un campo magnético de intensidad suficiente como por ejemplo la Tierra.

Aunque no es técnicamente sencillo, está demostrado que es posible usar el sistema GPS para altitudes desde LEO hasta GEO. Su uso se basa en usar varias antenas receptoras, deduciéndose la altitud de la diferencia en la señal recibida en ambas.

Típicamente se mezclan varios tipos de sensores con varios anchos de banda y se obtiene la actitud de las medidas mediante un Filtro de Kalman o similar.

2.7.7.1 Magnetómetros Mide el vector del campo magnético en el sistema de referencia ejes cuerpos. Estos sensores se comparan con el campo magnético teórico en los ejes fijos de la tierra, para hallar la actitud. No son muy precisos por la irregularidad del campo magnético terrestre.

2.7.8 **Sensor de temperatura**

Es un dispositivo que se utiliza para medir la cantidad de energía térmica que permite detectar un cambio físico en la temperatura, produciendo ya sea una salida

digital o analógico. Existen tres tipos principales de sensores de temperatura, ellos son:

2.7.8.1 Termocupla

Son sensores de temperatura eléctricos, también conocido como termopar, comúnmente utilizado en la industria, constituido por un material termoeléctrico que permite transformar directamente el calor en electricidad, este sensor genera una tensión en función de la temperatura que se le está aplicando al sensor. Dependiendo del tipo de termocupla puede medir temperatura que van desde los -200°C hasta los 1700°C .

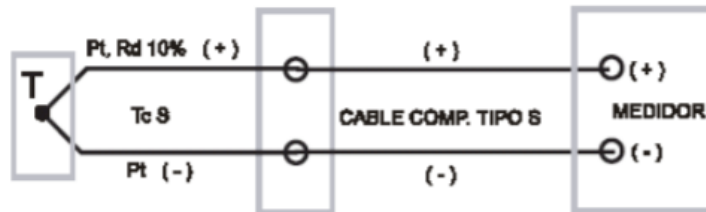


Figura 12: Termocupla, fuente [21], pág. (5).

2.7.8.2 Termistores

El Termistor es una resistencia sensible a la temperatura que cambia su resistencia física con el cambio en la temperatura. Generalmente, los termistores están hechos de material semiconductor de cerámica, tales como cobalto, manganeso o níquel óxidos recubiertos en vidrio. Se forma en pequeños discos herméticamente cerrados prensados que dan una respuesta relativamente rápida a los cambios de temperatura. Y aunque no son lineales, son mucho más sensibles, también denominados NTC (negative temperatura coeficient).

En algunos casos, la resistencia de un termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta 6% por cada 1°C de aumento de temperatura. Esta gran sensibilidad a variaciones de temperatura, que hace especial a este tipo de sensor,

hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150°C a 450°C.

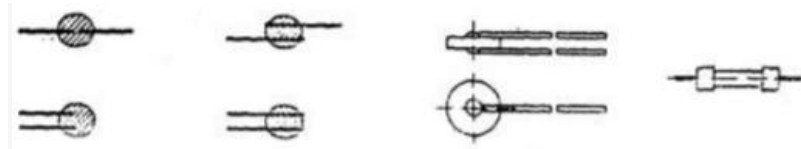


Figura 13: Termistores, fuente [21], pág. (13).

2.7.8.3 Termoresistencia

La termoresistencia, también conocida como RTD, funciona dependiendo de la temperatura medida, ya que si esta cambia, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Tienen elementos sensitivos basados en conductores metálicos, que cambian su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Este cambio en resistencia se puede medir con un circuito eléctrico, que consiste de un elemento sensitivo, una fuente de tensión auxiliar y un instrumento de medida.

Los dispositivos RTD más comunes están contruidos con una resistencia de platino, el cual es el material más estable y exacto. La relación resistencia vs temperatura correspondiente al alambre de platino factible, que la termoresistencia de platino se utiliza como estándar internacional de temperatura desde - 260 °C hasta 630 °C. También se utilizan otros materiales fundamentalmente níquel, níquel-hierro, cobre y tungsteno. Típicamente tienen una resistencia entre 20Ω y 20kΩ. La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre - 200°C y 850°C

2.7.9 Sensor de presión

Son dispositivos que están constituidos por un elemento sensible a la presión y que emiten una señal eléctrica al variar la presión o que provocan operaciones de conmutación si ésta supera un determinado valor límite. Es importante tener en cuenta que se puede medir con estos dispositivos son: La presión diferencial, absoluta y sobrepresión.

Entre los tipos de sensores de presión se encuentran:

- **MANÓMETRO:** Constituido por un tubo de vidrio en forma de U para mediciones absolutas y no necesita calibración. Su desventaja principal es la longitud de los tubos necesarios para medir presiones muy altas.
- **TUBO BOURDON:** Funciona en base a la relación entre la carga y la deformación de una constante del material, conocida como el módulo de Young. Esta deformación es una medición de la presión aplicada, que puede determinarse por el desplazamiento mecánico del puntero conectado al tubo Bourdon, o mediante un sistema de variación de resistencia o campos eléctricos o magnéticos. Otras formas típicas de tubos son espiral y helicoidal.
- **PREOSTATO:** Estos aparatos permiten regular o controlar una presión o depresión en los circuitos neumáticos o hidráulicos. Cuando la presión o la depresión alcanzan el valor de reglaje, cambia el estado del contacto de NO/NC (normalmente abierto/normalmente cerrado). Los presostatos se utilizan frecuentemente para:
 - Controlar la puesta en marcha de grupos de compresores en función de la presión del depósito.
 - Asegurarse de la circulación de un fluido lubricante o refrigerador.
 - Limitar la presión de ciertas máquinas – herramientas provistas de cilindros hidráulicos.

- Detener el funcionamiento de una máquina en caso de baja de presión.

Entre otros tipos de sensores de presión.

2.7.10 Sensores De Desplazamiento, Posición Y Proximidad.

Los sensores de desplazamiento miden la magnitud que se desplaza un objeto; los sensores de posición determinan la posición de un objeto en relación a un punto de referencia. Los sensores de proximidad son una modalidad de sensor de posición y determinan en qué momento un objeto se mueve dentro de una distancia crítica del sensor.

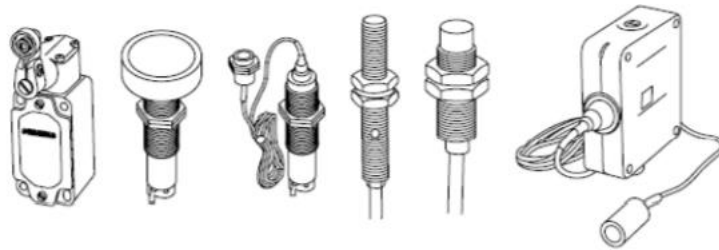


Figura 14: Sensores de desplazamiento, posición y proximidad, Fuente [23], pág (6).

2.7.11 Sensores de Velocidad y Movimiento

- Sensores tacométricos: se encargan de medir la velocidad angular. Estos miden la frecuencia de impulsos de cualquier tipo de señal, que generalmente es de tipo fotónica por su fácil manejo ante la oposición al paso de luz.
- Tacogenerador: proporciona una tensión proporcional a la velocidad de giro del eje. Utiliza un interruptor llamado “reed switch”, que utiliza fuerzas magnéticas para activarse o no dependiendo si un objeto magnético se encuentra físicamente cercano al interruptor

2.8 Organismos de estandarización para comunicación Satelital

2.8.1 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineer)

Es una asociación internacional sin fines de lucro de ámbito técnico-profesional, que mediante la estandarización busca fomentar la prosperidad global para beneficio de la humanidad y las profesiones, mediante la promoción de los procesos de ingeniería, en la creación, desarrollo, integración, participación y aplicación del conocimiento de la informática, la ciencia electromagnética y la electro-tecnología.

La principal función del IEEE es la diseminación de la información tecnológica. Ésta institución publica alrededor del 30% de la literatura relacionada con electro-tecnologías en el mundo. Se encarga de divulgar y difundir información adjudicándole un valor monetario a cualquier tipo de persona. Se encarga de normalizar y certificar actividades de ingeniería, mediante el acogimiento de sus estándares los cuales dan a conocer mediante actividades de publicación técnica y conferencias.

2.8.2 ITU (International Telecommunication Union)

Es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras. Está compuesta por tres sectores:

UIT-T: sector de Normalización de las Telecomunicaciones.

UIT-R: sector de Normalización de las Radiocomunicaciones.

UIT-D: Sector de desarrollo de las Telecomunicaciones de la ITU.

Entre sus actividades se encuentra desarrollar estándares que facilitan la interconexión eficaz de las infraestructuras de comunicación nacionales con las redes globales, permitiendo un perfecto intercambio de información, ya sea datos,

faxes o simples llamadas telefónicas, desde cualquier país. Además de trabajar para integrar nuevas tecnologías en la red de telecomunicaciones global, para fomentar el desarrollo de nuevas aplicaciones tales como internet, correo electrónico y los servicios multimedia. La UIT gestiona el reparto del espectro de frecuencias radioeléctricas y de las órbitas de los satélites, recursos naturales limitados utilizados por una amplia gama de equipos incluidos los teléfonos móviles, las radios y televisiones, los sistemas de comunicación por satélite, los sistemas de seguridad por navegación aérea y marítima, así como por los sistemas informáticos sin cable.

Su relación con las telecomunicaciones es directa, ya que se encarga de estandarizar este sector en general, estándares que facilitan la interconexión eficaz de las infraestructuras de comunicación nacionales con las redes globales las cuales están contenidos en un amplio conjunto de documentos denominados Recomendaciones, agrupados por series. Cada serie está compuesta por Recomendaciones correspondientes a un mismo tema. Aunque en las recomendaciones nunca se “ordena” sino que se “recomienda, su contenido, a nivel de relaciones internacionales, es considerado como mandatorio por las Administraciones y Empresas.

2.8.3 ANSI (American National Standards Institute)

Es una organización sin fines de lucro que supervisa el desarrollo de estándares, productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos. ANSI coordina el sistema voluntario y de consenso de los estándares en EEUU, proporcionando un foro neutral para el desarrollo de las políticas a seguir en los asuntos relacionados con los estándares, además de supervisar el desarrollo de los estándares y de los programas y procesos para la conformidad. La federación también acredita a las organizaciones cualificadas, cuyos procesos de desarrollo de estándares cumplen todos los requisitos de ANSI, para desarrollar los estándares

nacionales americanos. Sin embargo, ANSI no desarrolla los estándares por sí mismo. ANSI influye de manera indirecta en el sector TELCO, ya que es el representante oficial de EEUU en la International Organization for standardization (ISO) y en International Electrotechnical Commission (IEC) a través del U.S National Committee (USNC).

2.8.4 TIA (Telecommunications Industry Association)

Es una asociación de comercio en los Estados Unidos que representa casi 600 compañías, la cual está acreditada por la ANSI como una organización desarrolladora de estándares. Los estándares y documentos técnicos iniciados en los comités de ingeniería de la TIA, son formulados de acuerdo a guías establecidas en los requerimientos impuestos por la ANSI. TIA se encuentra dividida por comités, los cuales se encargan de estudiar y estandarizar un campo específico de las telecomunicaciones, algunos de los comités son:

TR-8 Estándares de radio-comunicaciones: desarrollan estándares para garantizar seguridad de las radio comunicaciones y sus equipos.

TR-14 Sistemas de comunicación punto a punto: desarrolla estándares para la estructura de las torres de telefonía celular.

TR 30 Protocolos e interfaces de acceso multimedia: Desarrolla estándares para los equipos terminales de red.

TR-42 Sistemas de cableados de telecomunicaciones: desarrolla estándares para cableado estructurado (cables de fibra óptica, coaxial) y Data Centers.

TR-41 Requisitos de los usuarios de telecomunicaciones locales: desarrolla estándares de telefonía analógica, digital y sobre IP.

Entre las principales actividades que desarrolla están la escritura y mantenimiento de estándares de la industria y las especificaciones, la formulación de posiciones para la presentación en Nombre de estados Unidos en foros

internacionales, y la preparación de información técnica y los informes para su uso por parte de la industria y el gobierno.

2.9 ESTANDARIZACIÓN DE LA TELEMETRÍA

2.9.1 Comité Consultivo De Sistemas De Datos Espaciales (CCSDS)

Es una organización fundada en 1982 para programas espaciales, desarrollando normas y estándares para datos y sistemas de información utilizada en estos mismos. Involucrándose alrededor de 26 naciones, que colaboran en las comunicaciones, tramas y datos espaciales. Entre los temas que se tocan en el CCSDS se encuentra la comunicación entre tierra- satélite, satélite-tierra y satélite-satélite, siendo estos adoptados en la mayoría de las agencias líderes mundiales espaciales, el objetivo principal radica en la importancia de interoperabilidad gubernamental y comercial, reduciendo el riesgo, el tiempo de creación y los gastos que incluyan el proyecto, para esto desarrollan técnicas estándar de comunicación de datos para que puedan apoyarse mutuamente en el flujo de datos de cada uno y así permitir que se realicen misiones internacionales complejas.

Cabe destacar que hace varios años, el CCSDS reconoció las deficiencias con los límites de espacio profundo de la distancia lunar de la UIT, por este motivo los miembros del CCSDS acordaron establecer la frontera del Espacio Profundo a $2,0 \times 10^6$ Km, para así evitar confusión con la definición del espacio profundo de la UIT. Así que la CCSDS clasificó las misiones espaciales de la siguiente manera:

Las Misiones de Categoría A son aquellas que tienen una altitud sobre la Tierra menor a $2,0 \times 10^6$ Km.

Las Misiones de Categoría B son aquellas que tienen una altitud sobre la Tierra mayor a $2,0 \times 10^6$ Km.

El estándar CCSDS establece el formato de cada una de las cabeceras que debe tener un formato de trama para el envío de datos en un sistema de telemetría satelital, el cual se presenta a continuación:

Una transferencia de trama de TM abarcará los principales campos, situados contiguamente, en la siguiente secuencia:

- A) Cabecera primaria de la trama de transferencia (6 octetos, obligatoria);
- B) Cabecera secundaria de transferencia de trama (hasta 64 octetos, opcional);
- C) Campo de transferencia de datos de trama (número entero de octetos, obligatorio);
- D) Campo de Control Operacional (4 octetos, opcional);
- E) Campo de control de error de trama (2 octetos, opcional).

La transferencia de la trama de TM será de longitud constante durante una fase de misión específica para cualquier Canal Virtual o Canal Principal en un Canal Físico. En esta Recomendación, la trama de transferencia de TM también se denomina la trama de transferencia, o trama, por simplicidad, la combinación del campo de control operacional y el campo de control de error de trama se denomina remolque de bastidor de transferencia. El inicio de la trama de transferencia es señalado por la Subcapa de codificación de canal subyacente. Cabe destacar que un cambio de la longitud de la trama de transferencia puede resultar en una pérdida de sincronización en el receptor.

En la figura N°15 se observará la estructura general de la trama de transferencia de TM:

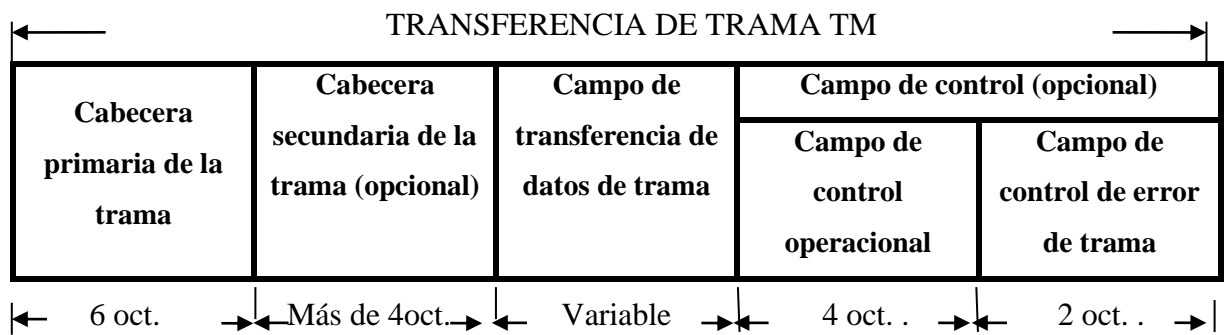


Figura n°15: Estructura general de la trama de transferencia. Fuente[18], pág, (56)

Las características de la trama de transferencia de TM se describirán a continuación:

2.9.1.1 Cabecera primaria de la trama de transferencia de trama.

El encabezado primario de la trama de transferencia es obligatorio y consistirá en seis campos, colocados en la siguiente secuencia:

- A) Identificador de canal maestro (12 bits, obligatorio);
- B) Identificador de canal virtual (3 bits, obligatorio);
- C) Bandera del Campo de Control Operacional (1 bit, obligatorio);
- D) Contador de trama (1 octeto, obligatorio);
- E) Conteo de trama de canal virtual (1 octeto, obligatorio);
- F) Estado de campo de transferencia de datos de trama (2 octetos, obligatorio).

El formato de la cabecera primaria de la trama de transferencia se muestra en la figura N° 16:



Figura n° 16: Encabezado primario de la trama de transferencia. Fuente[18], pág. (57)

2.9.1.1.1 Identificador del canal maestro.

Los bits 0 al 11 del encabezado primario del marco de transferencia deben contener el identificador de canal maestro (MCID). El identificador de canal maestro consistirá en:

- A) Número de versión de la trama de transferencia (2 bits, obligatorio);
- B) Identificador de la nave espacial (10 bits, obligatorio).

A) Número de la versión de la trama de transferencia.

Los bits 0 y 1 del encabezado primario del marco de transferencia deben contener el número de versión del marco de transferencia (codificado en binario). Este campo de 2 bits identificará la unidad de datos como una trama de transferencia definida por esta Recomendación; Se fijará a “00”.

B) Identificador de la nave espacial.

Los bits 2 al 11 de la cabecera primaria de la trama de transferencia deben contener el identificador de la nave espacial (SCID). El identificador de la nave espacial proporcionará la identificación de la nave espacial que está asociada con los datos contenidos en la trama de transferencia. El Identificador de la Nave Espacial será estático en todas las Fases de la Misión.

2.9.1.1 2 Identificador del canal virtual

Los bits 12 a 14 de la cabecera primaria de la trama de transferencia deben contener el identificador de canal virtual (VCID). El identificador de canal virtual proporciona la identificación del canal virtual. No hay restricciones en la selección de identificadores de canal virtual. En particular, los canales virtuales no están obligados a numerarse consecutivamente.

2.9.1.1.3 Bandera del campo de control operativo

La asociación de un campo de control operacional con un canal maestro permite la transferencia de datos sincronizados con este canal maestro. La asociación de un campo de control operacional con un canal virtual permite la transferencia de datos sincronizados con este canal virtual.

El bit 15 de la cabecera primaria del cuadro de transferencia debe contener la bandera del campo de control operativo, el indicador de campo de control operacional indicará la presencia o ausencia del campo de control operacional. Será “1” Si el campo de control operacional está presente y será “0” si el campo de control operacional no está presente.

La bandera del campo de control operacional será estática dentro del canal maestro o virtual asociado durante una fase de misión.

2.9.1.1.4 Contador de la trama.

El objetivo de este campo es proporcionar un recuento de ejecución de los cuadros de transferencia que se han transmitido a través del mismo canal maestro. Si se vuelve a configurar el recuento de tramas de canal maestro a causa de una reinicialización inevitable, no se puede determinar la completitud de una secuencia de cuadros de transferencia en el canal maestro relacionado.

Los bits 16 a 23 de la cabecera primaria de la trama de transferencia deben contener el recuento de trama de los canales maestros. Este campo de 8 bits contendrá un recuento binario secuencial (módulo 256) de cada trama de transferencia transmitida dentro de un canal maestro específico. Un reajuste del contador de canal maestro de la trama antes de llegar a 255 no tendrá lugar a menos que sea inevitable.

2.9.1.1.5 Contador de canal virtual de la trama.

El propósito de este campo es proporcionar responsabilidad individual para cada canal virtual, principalmente para permitir la extracción sistemática de paquetes del campo de transferencia de datos de trama. Si se vuelve a establecer el recuento de trama de canal virtual debido a una reinicialización inevitable, no se puede determinar la integridad de una secuencia de cuadros de transferencia en el canal virtual relacionado.

Los bits 24 al 31 de la cabecera primaria de la trama de transferencia deben contener el recuento de trama de canal virtual. Este campo de 8 bits contendrá un conteo binario secuencial (módulo 256) de cada trama de transferencia transmitida dentro de un canal virtual específico. No se realizará un reajuste del recuento de tramas del canal virtual antes de alcanzar 255, a menos que sea inevitable.

2.9.1.1.6 Estado del campo de datos de la trama de transferencia

Los bits del 32 al 47 del encabezado primario de trama de transferencia contendrán el estado del campo de datos de trama de transferencia.

Este campo de 16 bits se subdividirá en cinco subcampos, de la siguiente manera:

- A) Bandera de encabezado secundario de transferencia de trama (1 bit, obligatorio);
- B) Indicador de sincronización (1 bit, obligatorio);
- C) Bandera de pedido de paquetes (1 bit, obligatorio);
- D) Identificador de la longitud del segmento (2 bits, obligatorio);
- E) Primer puntero de cabecera (11 bits, obligatorio).

En la figura N° 17 se mostrará el formato Estado del campo de datos de la trama de transferencia.

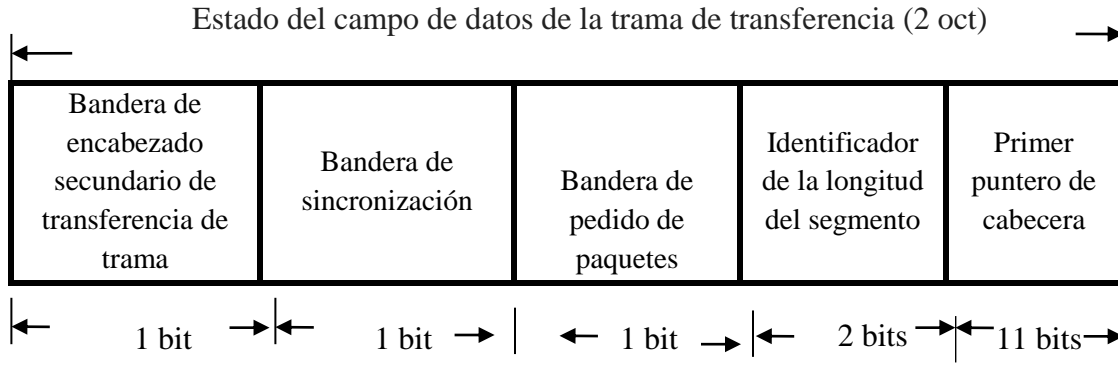


Figura n° 17: Formato estado del campo de datos de la trama de transferencia.

Fuente[18], pág, (60)

A) *Bandera de encabezado secundario de transferencia de trama.*

El bit 32 de la cabecera primaria de la trama de transferencia debe contener la bandera de encabezado secundario de la trama de transferencia.

El Indicador de encabezado secundario de la trama de transferencia debe indicar la presencia o ausencia de la cabecera secundaria de la trama de transferencia. Será “1” si está presente un Encabezado Secundario de trama de Transferencia; será “0” si un encabezado secundario de marco de transferencia no está presente. La bandera de encabezado secundario de la trama de transferencia debe ser estática dentro del canal maestro o virtual asociado durante una fase de misión.

B) *Bandera de sincronización.*

El bit 33 de la cabecera primaria del cuadro de transferencia debe contener el indicador de sincronización. El indicador de sincronización señalará el tipo de datos que se insertan en el campo de datos de trama de transferencia. Será “0” Si se insertan paquetes o datos de inactividad sincronizados con octetos y ordenados hacia delante; Será “1” si se inserta un VCA_SDU.

La Bandera de Sincronización será estática dentro de un Canal Virtual específico durante toda la Fase de Misión.

C) Bandera de pedido de paquetes

El bit 34 de la cabecera primaria del cuadro de transferencia debe contener el indicador de orden de paquete. Si el indicador de sincronización está establecido en “0”, el indicador de orden de paquetes está reservado para uso futuro por el CCSDS y se establecerá en “0”. Si el indicador de sincronización está establecido en “1”, el uso de la bandera de órdenes de paquetes no está definido.

D) Identificador de la longitud del segmento

Los bits 35 y 36 de la cabecera primaria del cuadro de transferencia deben contener el identificador de la longitud del segmento. Si el indicador de sincronización está establecido en “0”, el identificador de longitud del segmento se establecerá en “11”.

Este Identificador fue requerido para versiones anteriores de esta Recomendación para permitir el uso de los Segmentos de Paquete de Origen, que ya no están definidos. Su valor se ha establecido en el valor utilizado para denotar la no utilización de Segmentos de paquetes de origen en versiones anteriores. Si el indicador de sincronización está establecido en “1”, entonces el identificador de longitud del segmento no está definido.

E) Primer puntero de encabezado

Los bits 37 al 47 del encabezado primario de trama de transferencia contendrán el primer puntero de encabezado. Si el indicador de sincronización está establecido en “0”, el primer puntero de encabezado contendrá la posición del primer

octeto del primer paquete que comienza en el campo de datos de trama de transferencia. Sin embargo, si el indicador de sincronización está establecido en “1”, entonces el primer puntero de encabezado no está definido.

Las ubicaciones de los octetos en el campo de datos de trama de transferencia se numerarán en orden ascendente. El primer octeto en este campo se le asigna el número 0. El primer puntero de encabezado contendrá la representación binaria de la ubicación del primer octeto del primer paquete que comienza en el campo de datos de trama de transferencia.

El propósito del primer puntero de encabezado es facilitar la delimitación de paquetes de longitud variable contenidos en el campo de datos de trama de transferencia apuntando directamente a la ubicación del primer paquete desde el que se puede determinar su longitud. Las ubicaciones de los paquetes siguientes dentro del mismo campo de datos de trama de transferencia se determinarán calculando las ubicaciones utilizando el campo de longitud de estos paquetes.

Si el último paquete en el campo de datos de trama de transferencia de la trama de transferencia N se derrama en el marco M del mismo canal virtual ($N < M$), el primer puntero de encabezado en la trama M ignora el residuo del paquete dividido e indica el inicio de El siguiente paquete que comienza en el marco M.

Si no se inicia ningún paquete en el campo de transferencia de datos de trama, el primer puntero de encabezado se establecerá en ‘1111111111’

La situación anterior puede ocurrir si un paquete largo se extiende a través de más de una trama de transferencia. Si una trama de transferencia contiene sólo datos inactivos en su campo de datos de trama de transferencia, el primer puntero de encabezado se establecerá en ‘1111111110’.

Una trama de transferencia con su primer puntero de encabezado establecido en '1111111110' Se denomina marco de transferencia OID, lo que significa que sólo tiene datos inactivos en su campo de datos.

Los cuadros de transferencia OID se envían para mantener la transmisión síncrona de cuadros de transferencia y también para transmitir datos en el encabezado secundario de transferencia de trama y/o el campo de control operacional en un canal virtual o maestro específico cuando no hay paquetes para enviar.

Los cuadros de transferencia OID pueden enviarse en canales virtuales que también llevan paquetes válidos, pero se prefiere que un canal virtual independiente se dedique a llevar cuadros de transferencia inactiva a menos que sea necesario enviar cuadros de transferencia inactiva en un canal virtual específico (por ejemplo, para Transmitir datos en el encabezado secundario de transferencia de trama y / o el campo de control operacional en un canal virtual específico).

Se puede generar una trama de transferencia OID siempre que sea necesario (incluso en medio de la transmisión de un paquete que se divide en varios cuadros de transferencia).

OID en el campo de transferencia de datos de un marco de transferencia de OID no debe confundirse con el paquete de inactividad especificado en la referencia.

2.9.1.2 Cabecera secundaria de la trama de transferencia.

Si está presente, el encabezado secundario del marco de transferencia seguirá, sin espacio, el encabezado primario del marco de transferencia.

El encabezado secundario del marco de transferencia es opcional; Su presencia o ausencia deberá ser señalada por el Indicador de Cabecera Secundaria de

la Trama de Transferencia en la Cabecera Primaria de la Trama de Transferencia. La cabecera secundaria de la trama de transferencia consistirá en un número entero de octetos de la siguiente manera:

A) Campo de identificación del encabezado secundario de la trama de transferencia (1 octeto, obligatorio);

B) Campo de datos de encabezado secundario de transferencia de trama (1 a 63 octetos, obligatorio).

Si está presente, el encabezado secundario de transferencia de trama estará asociado con un canal maestro o un canal virtual. La asociación de un encabezado secundario de transferencia de trama con un canal maestro permite la transferencia de datos sincronizados con este canal maestro. La asociación de un encabezado secundario de transferencia de trama con un canal virtual permite la transferencia de datos sincronizados con este canal virtual. Si está presente, este campo se producirá dentro de cada trama de transferencia transmitida a través del canal maestro o virtual asociado a lo largo de una fase de misión.

El encabezado secundario de la trama de transferencia deberá tener una longitud fija dentro del canal maestro o virtual asociado a lo largo de una fase de misión.

El formato del encabezado secundario de transferencia de trama se muestra en la figura N°18:

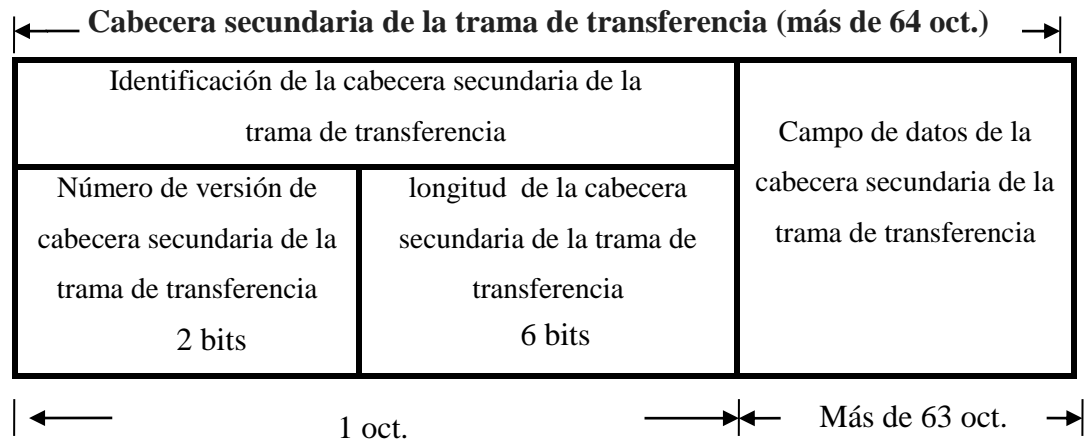


Figura nº18: Formato del encabezado secundario de transferencia de trama.
Fuente[18], pág, (63)

2.9.1.2.1 Identificación de la cabecera secundaria de la trama de transferencia.

Los bits 0 al 7 del encabezado secundario del marco de transferencia contendrán el campo de identificación del encabezado secundario del marco de transferencia. El campo de identificación del encabezamiento secundario del cuadro de transferencia se subdividirá en dos subcampos como sigue:

A.1) Número de versión del encabezado secundario de la trama de transferencia (2 bits, obligatorio);

A.2) Longitud de la cabecera secundaria de la trama de transferencia (6 bits, obligatorio).

2.9.1.2.1.1 Número de versión de cabecera secundaria del marco de transferencia.

Los bits 0 y 1 del encabezado secundario del marco de transferencia contendrán el número de versión del encabezado secundario del marco de transferencia (codificado en binario). El número de versión del encabezado secundario de la trama de transferencia se establecerá en “00”. Cabe destacar que este

sub-campo indica cuales de las cuatro versiones existentes de encabezado secundario se utiliza. La recomendación CCSDS sólo reconoce una versión, que es la versión 1, cuyo número de versión codificado binario es “00”.

2.9.1.2.1.2 Longitud de la cabecera secundaria de la trama de transferencia.

Los bits 2 a 7 del encabezado secundario del marco de transferencia contendrán la longitud del encabezamiento secundario del marco de transferencia. Este sub-campo deberá contener la longitud total del encabezado secundario del marco de transferencia en octetos menos uno, representado como un número binario. La longitud de la cabecera secundaria de la trama de transferencia debe ser estática dentro del canal maestro o virtual asociado a lo largo de una fase de misión. Cuando está presente un encabezado secundario, esta longitud se puede utilizar para calcular la ubicación del inicio del campo de datos de trama de transferencia.

2.9.1.2.2 Campo de datos de la cabecera secundaria de la trama de transferencia.

El Campo de Datos del Encabezado Secundario de la trama de Transferencia seguirá, sin espacio, el Campo de Identificación del Encabezado Secundario de la trama de Transferencia. El campo de datos del encabezado secundario del marco de transferencia debe contener los datos del encabezado secundario del marco de transferencia. El campo de datos del encabezado secundario del marco de transferencia deberá tener una longitud fija dentro del canal maestro o virtual asociado a lo largo de una fase de misión.

2.9.1.2.2.1 Campo de transferencia de datos de trama.

El campo de datos de trama de transferencia debe seguir, sin espacio, el encabezado primario de la trama de transferencia o el encabezado secundario de la trama de transferencia, si están presentes.

El campo de transferencia de datos de trama, que contendrá un número entero de octetos, tiene una longitud que varía y es igual a: la longitud de trama de transferencia fija que se ha seleccionado para su uso en un canal físico particular, menos, la longitud de la cabecera primaria de la trama de transferencia más la longitud de la cabecera secundaria de la trama de transferencia y / o de la trama de la trama de transferencia (si alguno de ellos está presente).

El campo de datos de trama de transferencia contendrá paquetes, un VCA_SDU o datos inactivos. VCA_SDUs no se deben mezclar con paquetes en el mismo canal virtual. Los datos inactivos se transferirán en un canal virtual que transfiera paquetes. Si un canal virtual particular transfiere paquetes (y posiblemente datos inactivos) o VCA_SDU se establecerá por administración y estática durante una fase de misión.

Si los paquetes están contenidos en el campo de datos de trama de transferencia, los paquetes se insertarán de forma contigua y en orden de avance en el campo de datos de trama de transferencia.

Los paquetes primero y último del campo de datos de trama de transferencia no están necesariamente completos, ya que el primer paquete puede ser una continuación de un paquete iniciado en el marco de transferencia anterior y el último paquete puede continuar en el marco de transferencia posterior del mismo canal virtual.

2.9.1.2.3 Campo de control.

2.9.1.3A Campo de control operacional

Si está presente, el campo de control operativo ocupará los cuatro octetos que siguen, sin espacio, el campo de datos de trama de transferencia. El campo de

control operacional es opcional; Su presencia o ausencia es señalada por el indicador de campo de control operacional en el encabezado primario del marco de transferencia.

Si está presente, el campo de control operacional estará asociado con un canal maestro o un canal virtual. La asociación de un campo de control operacional con un canal maestro permite la transferencia de datos sincronizados con este canal maestro. La asociación de un campo de control operacional con un canal virtual permite la transferencia de datos sincronizados con este canal virtual. Si está presente, este campo se producirá dentro de cada trama de transferencia transmitida a través del canal maestro o virtual asociado a lo largo de una fase de misión.

El bit principal del campo, es decir, el bit 0, contendrá una bandera de tipo con los siguientes significados:

- A) La Bandera de Tipo será “0” si el campo de control operacional contiene un informe de tipo 1 que contendrá una palabra de control de enlace de comunicaciones.
- B) La bandera de tipo será “1” Si el campo de control operacional contiene un informe de tipo 2.

La bandera de tipo puede variar entre cuadros de transferencia en el mismo canal maestro o virtual que lleva este campo.

El primer bit de un Informe de Tipo 2 (es decir, bit 1 del Campo de Control Operacional) indicará el uso de este informe como sigue:

- A) si este bit es “0”, el contenido del informe es específico del proyecto;
- B) si este bit es “1”, el contenido del informe está reservado por CCSDS para su aplicación futura.

El valor del primer bit de un informe de tipo 2 puede variar entre cuadros de transferencia en el mismo canal maestro o virtual que lleva este campo.

El propósito de este campo es proporcionar un mecanismo estandarizado para reportar un pequeño número de funciones en tiempo real (tales como control de retransmisión o calibración de reloj de nave espacial

2.9.1.3B Campo de control de error de trama.

Si está presente, el campo de control de error de trama ocupará los dos octetos siguientes, sin espacio, el campo de control operacional si está presente, o el campo de datos de trama de transferencia, si no existe un campo de control operativo. El campo de control de error de trama es opcional; Su presencia o ausencia será establecida por la dirección.

Si está presente, el campo de control de errores de trama se producirá dentro de cada trama de transferencia transmitida dentro del mismo canal físico durante una fase de misión. El objetivo de este campo es proporcionar una capacidad para detectar errores que pudieran haber sido introducidos en la trama de transferencia durante el proceso de transmisión y procesamiento de datos.

Si se debe utilizar este campo en un canal físico concreto, se determinará en función de los requisitos de misión para la calidad de los datos y de las opciones seleccionadas para la subcapa de codificación de canal subyacente. Este campo puede ser obligatorio dependiendo de las opciones seleccionadas para la subcapa de codificación de canal.

2.9.1.2.4 Procedimiento de codificación de campo de control de error de trama.

El procedimiento de codificación acepta una trama de transferencia (n-16) - bit, excluyendo el campo de control de error de trama, y genera un código de bloque binario sistemático (n, n-16) añadiendo un campo de control de error de trama de 16 bits como Los 16 bits finales del bloque de código, donde n es la longitud de la trama de transferencia.

La ecuación para el contenido del campo de control de error de trama es:

$$CCET: \left[(X^{16} \cdot M(X)) + (X^{(n-16)} \cdot L(X)) \right] \text{mod} G(X)$$

Donde:

- Toda la aritmética es módulo 2;
- N es el número de bits en el mensaje codificado;
- M (X) es el mensaje (n-16) -bits a codificar expresado como un polinomio con coeficientes binarios;
- L (X) es el polinomio preestablecido dado por: $L(X) = \sum_{i=0}^{15} X^i$

G(X) es el polinomio generado por: $G(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$

El término “ $(X^{(n-16)} \cdot L(X))$ ” tiene el efecto de preestablecer el registro de desplazamiento en todos los estados “1” antes de la codificación.

Procedimiento de decodificación de campo de control de error de trama.

La ecuación para la detención de error es la siguiente:

$$S(X) = \left[(X^{16} \cdot C^*(X)) + (X^n \cdot L(X)) \right] \text{mod} G(X), \text{ donde:}$$

$C^*(X)$ Es el bloque recibido, incluyendo el campo de control de error de trama, en forma polinómica; y $S(X)$ es el polinomio del síndrome que será cero si no se detecta error y no es cero si se detecta un error.

2.9.2 Grupo de Instrumentación Entre Distancias (IRIG 106-04)

Estos estándares pertenecen al cuerpo del Rango del Consejo de Comandantes (RCC), el uso de la norma IRIG 106-04 es proporcionar un protocolo estándar para códigos de tiempo seriales que se generan para la correlación de datos con el tiempo. Los sistemas electrónicos modernos, tales como sistemas de comunicación, sistemas de manejo de datos y sistemas de rastreo de misiles y naves espaciales, requieren información de la hora del día y del año para la correlación de datos con el tiempo. Los códigos de tiempo formateados en serie se utilizan para interconectar eficientemente la salida del sistema de temporización con el sistema de usuario. La estandarización de los códigos de tiempo es necesaria para asegurar la compatibilidad de los sistemas entre los distintos rangos, las redes de rastreo terrestre, los proyectos de naves espaciales y misiles, las instalaciones de reducción de datos y los proyectos de cooperación internacional. Estos códigos digitales son típicamente modulados en amplitud en una portadora de ondas sinusoidales o transmitidos como señales TTL de tiempo de subida rápido.

Los estándares que tratan acerca del enlace espacio-Tierra, y la estructura de una trama de telemetría satelital, cabe destacar que estas normas definen necesariamente la capacidad existente de cualquier rango de prueba, sino que constituyen una guía para la implementación ordenada de sistemas de telemetría para ambos rangos y rango usuarios, entre los estándares que se encuentran son los siguientes:

2.9.2.1 Sistemas de transmisores y receptores

- UHF Sistemas de Transmisores de Telemetría

Los requisitos de telemetría para sistemas de aire, espacio y tierra se acomodan en las bandas UHF 1435 a 1535, 2200 a 2300 y 2310 a 2390 MHz.

2.9.2.2 Normas de modulación de códigos de impulsos

Los datos de modulación de código de impulsos (PCM) se transmiten como un flujo de bits en serie de palabras multiplexadas por división de tiempo de código binario. Cuando se transmita PCM, se utilizará un filtro de pre-modulación para confinar el espectro de radiofrecuencia radiada. Estas normas definen la estructura del tren de impulsos y las características de diseño del sistema para la implementación de los formatos de telemetría PCM.

2.9.2.2.1 Distinciones de clase y características orientadas a bits

2.9.2.2.1.1 Distinciones Clase I y Clase II.

En este capítulo se tratan dos clases de formatos PCM: Los tipos básicos y más simples son de clase I y las más complejas son de clase II. El uso de cualquier técnica de clase II requiere la concurrencia de la gama implicada. Todos los formatos con características descritas en estas normas son de clase I, excepto los identificados como clase II. Los siguientes son ejemplos de características de clase II:

- Velocidades binarias superior a 5 Mbps
- Longitudes de palabras superiores a 16 bits.
- más de 8192 bits o 1024 palabras por trama menor.

2.9.2.2.1.2 Definiciones y requisitos orientados a bits.

A continuación se describen las definiciones y los requisitos relativos a los flujos de bits PCM serie. Las siguientes convenciones de código para la representación binaria son las únicas representaciones permisibles. Sólo se utilizará

una convención dentro de un único flujo de bits PCM. Si se transmite NRZ-L aleatorizado (RNRZ-L), utilizará el patrón de regeneración de 15 bits

2.9.2.2.1.3 Velocidad de bits: La velocidad binaria mínima será de 10 bps. Las velocidades de bits superiores a 5 Mbps son de clase II.

2.9.3 Formatos fijos

A continuación se describen las características de los formatos fijos. Los formatos fijos no tienen cambios durante la transmisión con respecto a la estructura del cuadro, la longitud de la palabra o la ubicación, la conmutación secuencia, intervalo de muestreo o lista de medidas.

2.9.3.1 Palabras orientadas a las definiciones y requerimientos: Las siguientes definiciones y requisitos se dirigen a las características de las palabras. Longitud de palabra (Clase I y II): Las palabras individuales pueden variar en longitud de 4 bits a no más de 16 bits en clase I y no más de 64 bits en clase II.

2.9.3.2 Palabra de numeración: Para proporcionar una notación consistente, la primera palabra después del patrón de sincronización de marco menor se numerará "uno", cada palabra subsiguiente se numerará secuencialmente dentro del marco menor. La numeración dentro de una subtrama deberá ser "una" para la palabra en el mismo marco menor que el valor del contador inicial para la sincronización de subtrama y secuencialmente después. Las anotaciones de W y S significarán la posición de palabra W en el marco secundario y la posición de palabra S en el subtrama.

2.9.3.2.1 Estructura de la trama: Los datos del PCM se formatearán en marcos de longitud fija como se define en estas secciones con respecto a la estructura del marco además deben contener un número fijo de intervalos de bit de duración igual.

2.9.3.2.2 *Trama menor*: La trama secundaria se define como la estructura de datos en la secuencia temporal desde el comienzo de un patrón de sincronización de trama menor hasta el comienzo del siguiente patrón de sincronización de trama menor.

2.9.3.2.2A Longitud de trama menor (clase I y clase II): La longitud de trama menor es el número de intervalos de bits desde el comienzo del patrón de sincronización de trama hasta el comienzo del siguiente patrón de sincronización. La longitud máxima de una trama menor no excederá de 8192 bits ni 1024 palabras en la clase I y no excederá de 16 384 bits en la clase II.

2.9.3.2.2B Composición de la trama menor: la trama menor contendrá el patrón de sincronización de trama menor, las palabras de datos y las palabras de sincronización de subtrama, si se usan. La longitud de una palabra en cualquier posición de palabra identificada dentro de un marco menor será constante. Otras palabras tales como identificadores de formato de marco pueden ser necesarias dentro de los formatos de clase II.

2.9.3.2.2C Sincronización de la trama menor: La información de sincronización de trama menor consistirá en una palabra digital fija no mayor de 33 bits consecutivos y no menor de 16 bits. El sincronizador de la trama menor consta de un contador de tramas transmitidas, que proporciona un recuento binario natural correspondiente al número de trama secundario en el que aparece la palabra de recuento de tramas. Se recomienda que dicho contador se incluya en todos las tramas menores, ya sea de clase I o de clase II y es especialmente deseable en los formatos de clase II para ayudar con el procesamiento de datos. El contador de tramas debe ser de longitud de palabra de formato nominal y restablecer para comenzar de nuevo a contar después de alcanzar el valor máximo. En los formatos donde está presente la subcomutación, el contador de ID de subtrama puede servir como contador de tramas.

2.9.3.2.3 Trama mayor o formato de tramas: Una trama mayor contiene el número de tramas menores necesarias para incluir una muestra de cada parámetro en el formato.

2.9.3.2.3.1 Longitud de trama mayor. La longitud de trama mayor se define como longitud de trama menor multiplicado por el número de tramas menores en la trama mayor. El máximo número de tramas menores por trama mayor no debe exceder de 256.

2.9.3.2.3.2 Numeración de la trama menor dentro de una trama mayor: Para proporcionar una notación consistente, la primera trama menor en una trama mayor se numerará "uno". Cada trama menor subsiguiente se enumerará secuencialmente dentro del marco principal.

2.9.3.2.4 Subconmutación: La subconmutación se define como un muestreo de parámetros a tasas de submúltiplos ($1/D$) de la frecuencia de tramas menores, donde la profundidad de una subtrama, D , es un número entero en el intervalo de 2 a el número más largo de palabras en una subtrama (de máximo 256).

2.9.3.2.4.1 Subtrama: La subtrama se define como un ciclo de los parámetros a partir de una posición de una palabra subconmutada en la trama menor. La profundidad, D , de una subtrama es el número de tramas menores en un ciclo antes de la repetición.

2.9.3.2.4.2 Método de sincronización de subtrama: El método estándar para la sincronización de subtramas es usar un "contador de ID de subtrama", un contador binario que cuenta secuencialmente hacia arriba o hacia abajo a la velocidad de las tramas. El contador debe estar situado en una posición fija en cada trama. Un contador ID de subtrama debe comenzar con el valor mínimo del contador al contar hacia arriba o el valor máximo del contador al contar hacia abajo. El contador también debe estar a la izquierda o a la derecha en una posición de palabra. El inicio

de una trama mayor (formato de trama) coincidirá con el recuento inicial para la subtrama más profunda.

2.9.3.2.4.3 Superconmutación: La superconmutación se define como muestreo multiplexo de división de tiempo a una velocidad que es un múltiplo de la frecuencia de tramas. La superconmutación (en una trama) proporciona múltiples muestras del mismo parámetro en cada trama. "Superconmutación sobre una subtrama" se define como muestreo multiplex de división de tiempo a una velocidad que es un múltiplo de la velocidad de subtrama y proporciona múltiples muestras del mismo parámetro dentro de una trama. Para la clase I, las muestras superconmutación conmutadas deben estar uniformemente espaciadas. Para la clase II, las muestras superconmutación deben ser tan espaciadas como sea posible.

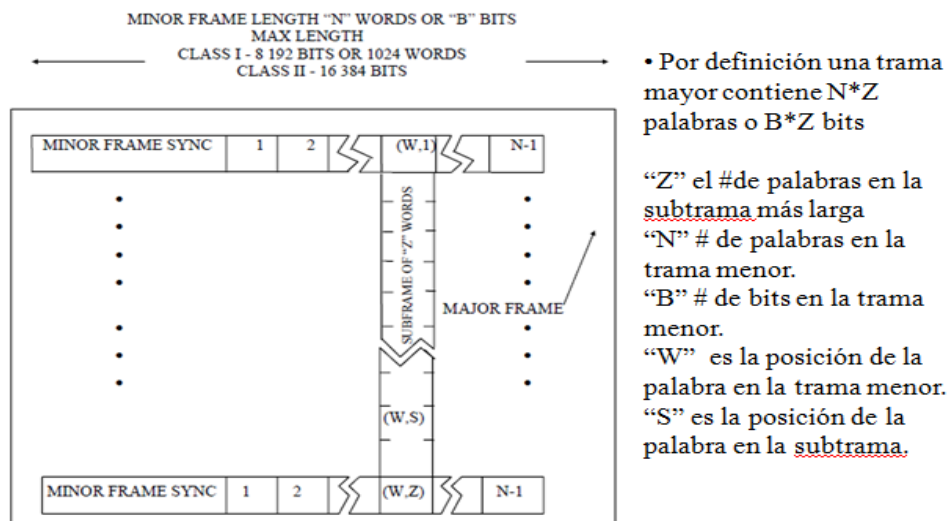


Figura n° 19: Características de un formato de trama. Fuente [16], pág. (59).

**2.10 COMPARACIÓN Y RELACIÓN ENTRE ESTÁNDARES DE
TELEMETRÍA.**

**TABLA N° 3: COMPARACIÓN Y RELACIÓN ENTRE ESTÁNDARES DE
TELEMETRÍA.**

CCSDS	IRIG 106-04
Es una organización creada para programas espaciales, involucrándose alrededor de 26 naciones	Estos estándares pertenecen al cuerpo del rango del consejo de comandantes, basado a su vez en los estándares del CCSDS.
La asignación de las frecuencias para el uso de telemetría para enlaces espacio-tierra son las bandas de 2 y 8 GHz.	Los requisitos de telemetría para sistemas de aire, espacio y tierra se acomodan en las bandas UHF 1435 a 1535, 2200 a 2300 y 2310 a 2390 MHz
Recomienda la elección de ondas PCM en sistemas de portadoras residuales en la telemetría.	Se utiliza el código de impulsos PCM, para la implementación de los formatos de telemetría PCM.
Utiliza la distinción de Misiones de categoría A (misiones menor a $2,0 \times 10^6$ Km sobre la tierra) y Misiones B (mayor a $2,0 \times 10^6$ Km sobre la tierra)	Utiliza distinciones de clase I y clase II para los formatos PCM, Clase I es la más simple y Clase II la más compleja
Para misiones de categoría A y B se recomienda un índice de tasa de símbolos por encima de 2 Mbps.	La velocidad binaria mínima será de 10bps (clase I), y para clase 2 será una velocidad de bits de más de 5 Mbps.
Para el diseño de la trama de telemetría cada canal contendrá 8 bits.	Para clase I cada canal de la trama contendrá entre 4 y 16 bits y en clase II no más de 64bits.
La longitud de trama deberá estar en el rango de 223 octetos (1784 bits) y 2048 octetos (16384 bits)	La longitud máxima de una trama no excederá de 8192 bits ni 1024 en clase I ni de 16384 en clase II.
No especifica.	El número máximo de tramas por formato será de 256.
En sistemas de TTC para satélites geoestacionarios debe diseñarse el sistema de telemetría con un ancho de banda de 100 kHz.	No especifica.
Recomienda que la cadena máxima de unos y ceros sea de 64 bits	No especifica.
Especifica el protocolo de enlace de datos espaciales de telemetría, abarcando los principales campos para la transferencia de trama, en cuanto a la cabecera primaria, secundaria, transferencia de datos, campo de control operacional y campo de control de error de trama.	No especifica.
	La trama contendrá el patrón de sincronización de trama, las palabras de datos

No especifica.	y las palabras de sincronización de subtrama, si se usan. Otras palabras tales como identificadores de formato de marco pueden ser necesarias dentro de los formatos de clase II.
La cabecera primaria de la trama debe contener 48 bits obligatorios.	Recomienda que la información de sincronización de trama consista en una palabra digital fija no mayor de 33 bits consecutivos y no menor de 16 bits.
Especifica en la cabecera primaria de la trama de transferencia de trama, el contador de trama, que deberá ser de un octeto.	Especifica el uso de la de numeración de la trama, secuencialmente, pero no la cantidad de bits.
No especifica	Especifica el uso de la subtrama dentro de un canal de trama en el formato de tramas.
No especifica.	Especifica la sincronización de la subtrama.

2.11 CARACTERÍSTICAS QUE SE TOMARÁN EN CUENTA PARA EL DISEÑO DEL CANAL DE TELEMETRÍA

En el presente trabajo de grado se tomarán en cuenta ambos estándares para la creación de la trama de telemetría, las características a considerar son:

TABLA N° 4: CARACTERÍSTICAS QUE SE TOMARÁN EN CUENTA PARA EL DISEÑO DEL CANAL DE TELEMETRÍA.

Característica a considerar	Organización
La asignación de las frecuencias para el uso de telemetría para enlaces espacio-tierra serán las bandas de 2 y 8 GHz.	CCSDS
Elección de ondas PCM en sistemas de portadoras residuales en la telemetría.	CCSDS e IRIG 106-04
Distinciones de clase I y clase II para los formatos PCM, Clase I es la más simple y Clase II la más compleja	IRIG 106-04
La velocidad binaria mínima será de 10bps (clase I), y para clase 2 será una velocidad de bits de más de 5 Mbps.	IRIG 106-04
Para el diseño de la trama de telemetría cada canal contendrá 8 bits.	CCSDS
La longitud de trama deberá estar en el rango de 223 octetos (1784 bits) y 2048 octetos (16384 bits)	CCSDS

El número máximo de tramas por formato será de 256.	IRIG 106-04
En sistemas de TTC para satélites geostacionarios debe diseñarse el sistema de telemetría con un ancho de banda de 100 kHz.	CCSDS
Recomienda que la cadena máxima de unos y ceros sea de 64 bits.	CCSDS
Especifica el protocolo de enlace de datos espaciales de telemetría, abarcando los principales campos para la transferencia de trama, en cuanto a la cabecera primaria, secundaria, transferencia de datos, campo de control operacional y campo de control de error de trama.	CCSDS
La cabecera primaria de la trama debe contener 48 bits obligatorios.	CCSDS
La trama contendrá el patrón de sincronización de trama, las palabras de datos y las palabras de sincronización de subtrama, si se usan. Otras palabras tales como identificadores de formato de marco pueden ser necesarias dentro de los formatos de clase II.	IRIG 106-04
Especifica el uso de la subtrama dentro de un canal de trama en el formato de tramas.	IRIG 106-04
Especifica la sincronización de la subtrama.	IRIG 106-04

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

DISEÑO DEL CANAL DE TELEMETRÍA

3.1 Diseño del canal de telemetría en términos de ancho de banda

En el estándar IRIG 106-04, se establecen normativas y recomendaciones para el diseño del canal de telemetría satelital, basado también en el estándar CCSDS, muy importante y reconocido en el área satelital, para el enlace descendente y ascendente de comunicación.

Para el diseño del canal de telemetría se hará una fusión de los estándares IRIG 106-04 y CCSDS, debido a que el estándar IRIG 106-04 explica temas que el estándar CCSDS no explica a profundidad, tales como la distribución de las señales de los sensores dentro de la trama, y la creación de las subtramas, mientras que el CCSDS explica con detalle cada una de las cabeceras que debe contener el formato de trama para el envío de información en un sistema satelital.

En el presente trabajo de grado se diseñará un canal de telemetría con un AB de 100kHz, utilizando 223 octetos (1784 bits), el mínimo establecido por el estándar, siendo cada octeto un canal dentro de la trama con un máximo de 256 tramas por formato. Tomando en consideración que las velocidades de transmisión típicas usadas en los sistemas de telemetría satelital están entre los 1200, 2400, 4800 y 9600 bps, entre otros, así que para el diseño de éste canal de telemetría se utilizará velocidades de transmisión de 2.4, 4.8 y 9.6 Kbps ya que con ayuda de una modulación al canal, se puede enviar datos a estas velocidades, aprovechando al máximo este AB establecido, para así luego comparar resultados de cada uno de los casos.

Utilizando 2400 bps:

El tiempo de muestreo de la trama será el siguiente:

$$T_m = \frac{1784 \text{ bits/trama}}{2400 \text{ bps}} = 0.7433 \text{ seg.}$$

$$f_m = 1/T_m = 1.345 \text{ Hz}$$

Aplicando Nyquist, para garantizar un envío eficiente de la información, la frecuencia de muestreo debe dividirse a la mitad, siendo entonces la frecuencia máxima de muestreo por trama (f_{\max}) de 0.67264 Hz, y por tanto el tiempo de muestreo máximo (T_{\max}) de 1.4866 seg. Y el tiempo de muestreo de cada canal será de 0.0066seg.

Utilizando 4800 bps:

El tiempo de muestreo de la trama será el siguiente:

$$T_m = \frac{1784 \text{ bits/trama}}{4800 \text{ bps}} = 0.371 \text{ seg.}$$

$$f_m = 1/T_m = 2.6905 \text{ Hz}$$

Aplicando Nyquist, para garantizar un envío eficiente de la información, la frecuencia de muestreo debe dividirse a la mitad, siendo entonces la frecuencia máxima de muestreo por trama (f_{\max}) de 1.3452 Hz, y por tanto el tiempo de muestreo máximo (T_{\max}) de 0.7433 seg. Y el tiempo de muestreo de cada canal será de 0.0033seg.

Utilizando 9600 bps:

El tiempo de muestreo de la trama será el siguiente:

$$T_m = \frac{1784 \text{ bits/trama}}{9600 \text{ bps}} = 0.18583 \text{ seg.}$$

$$f_m = 1/T_m = 5.3811 \text{ Hz}$$

Aplicando Nyquist, para garantizar un envío eficiente de la información, la frecuencia de muestreo debe dividirse a la mitad, siendo entonces la frecuencia máxima de muestreo por trama (f_{max}) de 2.6905 Hz, y por tanto el tiempo de muestreo máximo (T_{max}) de 0.3716 seg. Y el tiempo de muestreo de cada canal será de 0.0016seg.

El estándar IRIG 106-04 habla de la superconmutación y subconmutación, y estos dos se basan en el tiempo de muestreo de cada una de las señales dentro de la trama y del tiempo de muestreo de la trama en sí. Cuando el tiempo de muestreo de la señal del sensor es menor a la velocidad de muestreo de la trama, se dice que es una superconmutación, ya que la velocidad de muestreo de las señales es suficientemente rápida como para ocupar uno o varios canales dentro de una trama. Cuando el tiempo de muestreo de la señal del sensor es mayor a la de la velocidad de muestreo de la trama, se dice que es una subconmutación, debido a que la velocidad de muestreo del sensor es lenta en comparación con la velocidad de muestreo de la trama, entonces se debe crear una subtrama en el canal que le corresponde a ese sensor. La cantidad de subtramas dentro de un formato de trama depende del número múltiplo común entre ellos, es decir, el número de subtramas dentro de un formato se establece por la división del tiempo de muestreo del sensor entre el tiempo de muestreo máximo de la trama. Cada trama contiene una sincronización de subtramas para que no exista pérdida de información. La información del sensor se enviará, dividida en segmentos, es decir, en el canal correspondiente al sensor subconmutado en la trama se enviará lo que permita el tiempo de muestreo de ésta misma, hasta que en un formato de trama

se envíe la información completa del sensor subconmutado. El formato de la trama lo establecerá aquel sensor que necesite mayor cantidad de subtramas, siempre y cuando no sobrepase el máximo permitido por el estándar CCSDS el cual es 256 tramas por formato.

En el canal de telemetría a diseñar se utilizarán sensores que permiten el monitoreo y control de los satélites, los cuales son, sensores de voltaje, de corriente, de presión, de temperatura, desplazamiento, aceleración, de estrella, entre otros.

Tomando en consideración las reglas a seguir para la creación de los canales dentro de la trama, y de las subtramas, se puede establecer un rango de frecuencia de muestreo de los sensores a utilizar. Recordando que:

- $T_{\text{muestreo del sensor}} \leq T_{\text{máxtrama}}$, entonces,

$$\# \text{Canales por trama} = \frac{T_{\text{máxtrama}}}{T_{\text{muestreo del sensor}}}$$

- $T_{\text{muestreo del sensor}} > T_{\text{máxtrama}}$, entonces,

$$\# \text{Subtramas} = \frac{T_{\text{muestreo del sensor}}}{T_{\text{máxtrama}}}$$

Para obtener el rango máximo de frecuencia de los sensores, se calcula de manera iterativa con los tiempos de muestreo menores al de la trama, que permita diseñar un canal de telemetría con 223 canales (octetos) o menos. Para obtener el rango mínimo de la frecuencia de los sensores, se realiza un cálculo iterativo con los tiempos de muestreo de los sensores, mayores al tiempo de muestreo de la trama, y que permitan adaptarse al canal de telemetría, permitiendo así crear subtramas de máximo 256 , ya que es el número máximo de tramas que debe haber por formato.

Para 2400 bps:

En un rango de entre:

$$0.0027\text{Hz} \leq f_{\text{máxsensor}} < 150\text{Hz}$$

Para 4800 bps:

En un rango de entre:

$$0.00557 \leq f_{\text{máxsensor}} < 300\text{Hz}$$

Para 9600 bps:

En un rango de entre:

$$0.0117\text{Hz} \leq f_{\text{máxsensor}} < 600\text{Hz}$$

Para el diseño del canal del sistema de telemetría se deben usar sensores que además de tener frecuencias de muestreo dentro de este rango, no deben alejarse no más de 2 Hz entre ellos, para así no crear un desajuste en el formato de trama y evitar pérdida de información.

En la siguiente figura se puede visualizar un esquema general de un formato de trama, con cada uno de los encabezados que establece el estándar CCSDS, que son el encabezado principal, encabezado secundario, campo de transferencia de datos y por último el campo de control:

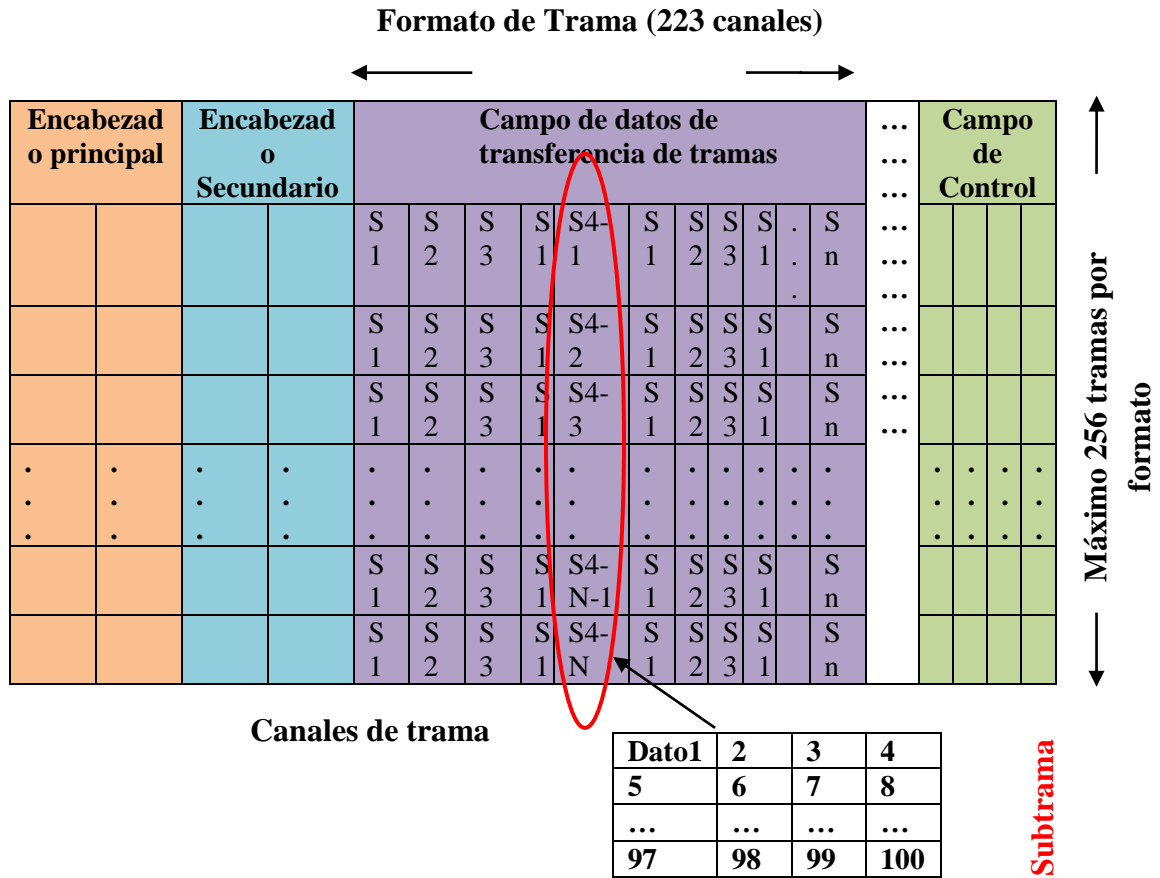


Figura n° 20: Esquema general de un formato de trama.

3.2 Número de sensores distribuidos en la plataforma satelital

El número de sensores distribuidos en la plataforma satelital dependerá del objetivo de cada satélite, de la estructura de la plataforma satelital y de los transpondedores, además de la capacidad del canal del sistema de telemetría. El uso típico es de 100 sensores en la plataforma satelital, con una velocidad de muestreo entre 150 y 4000 bps.

Para cumplir con las reglas establecidas anteriormente en el diseño del canal del sistema de telemetría se utilizarán unas velocidades de muestreo de 2400bps, 4800bps y 9600 bps, con máximo 223 octetos por trama para el envío de datos,

queriendo decir que existen 223 canales, en los que estará ubicado cada uno de los sensores.

Tomando como referencia que cada sensor tenga un canal por trama y se repita una vez, entonces máximo el número de sensores que se pueden tener en esta plataforma satelital es de menos de 223 sensores, que cumplan idealmente con lo nombrado anteriormente.

Aunque para no recargar el canal de telemetría, y evitar pérdidas de información se establecerá 200 sensores en la plataforma satelital, ya que no todos los sensores tendrán la misma frecuencia de muestreo y algunas tendrán varios canales en la trama, así como otros utilizarán una con una subtrama incluida en ella.

Teniendo en cuenta que puede ser mayor el números de octetos o canales por trama, dependiendo del diseño del canal de telemetría, entonces también podrá ser mayor el número de sensores ubicados en la plataforma satelital.

3.3 Diagrama de flujo a utilizar para el desarrollo de un prototipo o modelo de una trama utilizada en la telemetría.

En la tabla siguiente se hará una breve descripción de los sensores utilizados para la creación de un canal de telemetría, en donde se podrá visualizar que sensores se adaptan a este canal, y cuáles no, siguiendo los parámetros anteriormente descritos:

TABLA N° 5: SENSORES SELECCIONADOS PARA EL DESARROLLO DE UN PROTOTIPO O MODELO DE UNA TRAMA UTILIZADA EN LA TELEMETRÍA.

SENSOR	FRECUENCIA MUESTREO SENSOR	VELOCIDAD DE MUESTREO SELECCIONADAS A LA QUE PUEDE TRABAJAR EL SENSOR	TIEMPO DE MUESTREO DEL SENSOR (SEG.)	¿NECESITA SUBCONMUTACIÓN ?	NRO. DE CANALES EN UNA TRAMA	NRO. DE SUBTRAMAS EN EL FORMATO DE TRAMA
Sensor de Voltaje Hioki 8206-10	100 Hz	TODAS	0.01	NO	MÁX. 149	0
Sensor de Humedad DHT22	0.5 Hz	TODAS	2	SI	1	MÁX 6
Sensor de distancia GP2Y0A2 1	26 Hz	TODAS	0.038	NO	MÁX. 40	0
Sensor giroscopio , acelerómetro y brújula PhidgetSpatial 3/3/3	0.004 Hz	SÓLO A 2400bps	250	SI	1	MÁX. 169
Sensor de torque RS232	3 Hz	TODAS	0.33	NO	MÁX. 5	0
Sensor de temperatura y Humedad DHT22/A M2301 (C96)	0.5 Hz	TODAS	2	SI	1	MÁX 6
Sensor de distancia DT020-1	50 Hz	TODAS	0.02	NO	MÁX. 75	0
Sensor de presión DT015-1	10 Hz	TODAS	0.1	NO	MÁX. 15	
Sensor de inclinación SOLAR-	1 Hz	TODAS	1	SI, SÓLO EN LAS VEL. DE MUESTREO DE 4800 Y 9600 bps	MÁX. 2	3

360						
Giróscopio	200 Hz	SÓLO EN LAS VEL. DE MUESTREO DE 4800 Y 9600 bps	0.005	NO	MÁX. 149	0

El diagrama de flujo que se encuentra en el ANEXO D, se muestra el procedimiento para desarrollar un prototipo o modelo de una trama utilizada en el sistema de telemetría, con objetivo pedagógico, en el cual se pueda mostrar a los estudiantes, la distribución de los sensores en el canal, que, dependiendo de la frecuencia de muestreo de la trama y la de los sensores se sobreconmutarán, es decir, que tendrán cierta cantidad de número de canales dentro de una trama o se subconmutarán y tendrán un solo canal en una trama, pero necesitando más de una trama para lograr enviar la información completa.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO O MODELO DE UN CANAL DE TELEMETRÍA

Para el diseño del prototipo o modelo del canal de telemetría se utilizará PYTHON 3.6, una herramienta innovadora y fácil de usar. En el diseño se dará a escoger al usuario a cual velocidad de muestreo de la trama desea trabajar, entre los cuales están 2800 bps, 4800 bps, 9600 bps, mostrando una lista de máximo 10 sensores, establecidos en la TABLA N° 5, y especificados en ANEXOS B, en la que el usuario puede seleccionar el tipo de sensor y el número de sensores de ese tipo, hasta que el usuario decida no seleccionar más sensores, o haya superado el máximo número de canales por trama o subtramas de los 10 tipos de sensores, conociendo la frecuencia de muestreo de cada uno de ellos. Para luego realizar los cálculos

pertinentes y mostrar la imagen del formato de trama con cada uno de los sensores incluidos.

1. Utilizar velocidad de muestreo de 2400 bps
2. Utilizar velocidad de muestreo de 4800 bps
3. Utilizar velocidad de muestreo de 9600 bps
4. Finalizar

Indique una opción 1-4:

Figura n° 21: Velocidades de muestreo a utilizar en el diseño de una trama de telemetría satelital.

```

=====
[x NC]: Nro de canales por sensor a 2400 bps.
223 canales disponibles
=====
ID   Fr(Hz)  N[x NC]  Nombre Sensor
==   =====  =====  =====
S0   100     0 x 149  Sensor de Voltaje Hioki 8206-10
S1   0.5     0 x 1    Sensor de Humedad DHT22
S2   26.0    0 x 39   Sensor de distancia GP2Y0A21
S3   0.2     0 x 1    Sensor giroscopio, acelerómetro y brújula PhidgetSpatial 3/3/3
S4   3.0     0 x 5    Sensor de torque RS232
S5   0.5     0 x 1    Sensor de temperatura y Humedad DHT22/AM2301 (C96)
S6   50.0    0 x 75   Sensor de distancia DT020-1
S7   10.0    0 x 15   Sensor de presión DT015-1
S8   1.0     0 x 2    Sensor de inclinación SOLAR-360
S9   200     0 x 298  Giroscopio
==   =====  =====  =====
Seleccione un sensor [0-9]. Pulse 'X' para terminar la selección:

```

Figura n° 22: Lista de sensores a utilizar con el número de sensor especificado, para todas las velocidades de muestreo.

Se diseñó un tipo de abreviatura general para cada uno de los sensores, estableciendo, la instancia, tipo de sensor, número de medición y fracción de medición (en el caso que el sensor necesite submuestrearse):

INSTANCIA: Cantidad de sensores de un tipo específico.

NRO DE MEDICIÓN: Número de medición de un sensor de un tipo específico, dentro de una trama.

FRACCIÓN DE MEDICIÓN: Son los último tres dígitos, si es “0”, indica que el sensor se sobremuestra, y si hay un valor diferente indica que el sensor se submuestra, especificando el número de tramas que necesita para enviar la información completa del sensor.

TABLA 6: DISEÑO DE LA ABREVIATURA DEL SISTEMA.

$S_{N-k-M_{xxx}-n/m}$
N: Número del modelo del sensor
K: Número de sensores del modelo N
M: Número de muestras que cada modelo de sensor necesita por trama. (xxx máx 223 muestras por sensor)
n: Fracción de la medición que se ha enviado
m: cantidad total de la fracción de la medición que se ha enviado.

Para los sensores que se sobremuestreen, $n = m = 1$ (1/1), debido a que no necesitan más de una fracción demuestra para enviar la información por trama.

Es importante recordar que los sensores que se submuestran envían la información requerida en un canal, y por tener velocidades de muestreo mayor a la de la trama, puede enviar más de una muestra por trama.

Los sensores que se submuestrean, debido a que su frecuencia de muestreo es menor que la de la trama, necesitan más de una trama para enviar una misma muestra, es decir, por trama estaría enviando una fracción de la medición, hasta que se envíen las tramas necesarias para enviar la información completa.

En el programa diseñado, entre los sensores que fueron seleccionados y que requieren un solo canal por trama, es decir, se submuestrean, se almacena en una variable aquel sensor que necesita la mayor cantidad de tramas. Esto establecerá el número de tramas por formato.

Para el diseño de los sensores que se sobremuestrean, se podrá escoger tantos sensores de un tipo específico de la lista, permita la cantidad de canales por trama.

La suma total del número de canales de todos los sensores seleccionados no sobrepasará de 223 canales por trama, de lo contrario se presentará un error al usuario, indicando que ha sido sobrepasado el número de canales por trama. Es importante destacar, la modificación de la lista de sensores seleccionados, si el usuario desea modificar algún sensor, lo selecciona de nuevo en la lista de sensores y coloca cero (0) si desea eliminarlo de ésta, o coloca otro número para agregar o reducir el número de sensores de un tipo en particular ya seleccionado.

En la figura N° 23 se muestra que se seleccionó a velocidad de muestreo de 4800 bps, 1 sensor de tipo S3, 1 sensor de tipo S4 y 1 sensor de tipo S8, notificándole al usuario en la parte superior derecha que aún tiene 218 canales disponibles y que pudiese agregarle al formato más sensores.

```

=====
[x NC]: Nro de canales por sensor a 4800 bps.
218 canales disponibles
=====
ID   Fr (Hz)  N[x NC]  Nombre Sensor
==   ==      ==      ==
S0   100      0 x 75   Sensor de Voltaje Rioki 8206-10
S1   0.5      0 x 1    Sensor de Humedad DHT22
S2   26.0     0 x 20   Sensor de distancia GP2Y0A21
S3   0.2      1 x 1    Sensor giroscopio, acelerómetro y brújula PhidgetSpatial 3/3/3
S4   3.0      1 x 3    Sensor de torque RS232
S5   0.5      0 x 1    Sensor de temperatura y Humedad DHT22/AM2301 (C96)
S6   50.0     0 x 38   Sensor de distancia DT020-1
S7   10.0     0 x 8    Sensor de presión DT015-1
S8   1.0      1 x 1    Sensor de inclinación SOLAR-360
S9   200      0 x 149  Giroscopio
==   ==      ==      ==

Seleccione un sensor [0-9]. Pulse 'X' para terminar la selección: X
S3 (Sensor giroscopio, acelerómetro y brújula PhidgetSpatial 3/3/3): 1 ocurrencia(s) distribuida(s) en 7 subtramas del formato
S4 (Sensor de torque RS232): 1 ocurrencias X 3 canales por ocurrencia en cada trama
S8 (Sensor de inclinación SOLAR-360): 1 ocurrencia(s) distribuida(s) en 2 subtramas del formato
S3-O1-M1-1/7   S4-O1-M1-1/1   S4-O1-M2-1/1   S4-O1-M3-1/1   S8-O1-M1-1/2   .....
S3-O1-M1-2/7   S4-O1-M4-1/1   S4-O1-M5-1/1   S4-O1-M6-1/1   S8-O1-M1-2/2   .....
S3-O1-M1-3/7   S4-O1-M7-1/1   S4-O1-M8-1/1   S4-O1-M9-1/1   S8-O1-M2-1/2   .....
S3-O1-M1-4/7   S4-O1-M10-1/1  S4-O1-M11-1/1  S4-O1-M12-1/1  S8-O1-M2-2/2   .....
S3-O1-M1-5/7   S4-O1-M13-1/1  S4-O1-M14-1/1  S4-O1-M15-1/1  S8-O1-M3-1/2   .....
S3-O1-M1-6/7   S4-O1-M16-1/1  S4-O1-M17-1/1  S4-O1-M18-1/1  S8-O1-M3-2/2   .....
S3-O1-M1-7/7   S4-O1-M19-1/1  S4-O1-M20-1/1  S4-O1-M21-1/1  .....

```

Figura n° 23: Ejemplo del diseño del canal de telemetría.

En la figura N° 23 se puede observar cómo el sensor S3 se submuestra, necesitando 7 tramas en total, el sensor S4 envía 3 muestras diferentes por trama, y el sensor S8 se submuestra, necesitando 2 tramas para enviar una muestra completa. Debido a que el sensor S3 necesita más tramas para enviar las muestras que el sensor S8, entonces el sensor S3 establece el número de tramas por formato, el sensor S4 enviara 3 muestras diferentes por tramas, debido a que son 7 tramas en total, entonces el sensor S4 enviará 21 muestras diferentes en el formato. El sensor S8 necesita 2 tramas para enviar una muestra, así que se hace la división de $7/2=3$ (número entero), así que este sensor en particular enviará 3 muestras en este formato en particular.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sistemas de telemetría satelital representan una herramienta muy importante para la medición de magnitudes físicas o químicas, además de conocer los estados de los procesos y sistema de cada uno de los elementos que componen al satélite, para así tener un control de manera remota del funcionamiento, y corregir errores desde el centro de control en la Tierra o dependiendo del caso, desde la misma plataforma del satélite y enviar la información recabada hacia un sistema de información para su uso y provecho.

El sistema de telemetría funciona por medio de un sensor o transductor como dispositivo de entrada, un medio de transmisor, que en el caso satelital, usa ondas de radio. El sensor tiene como principal función convertir la magnitud física o química, tales como la temperatura, vibraciones, voltaje, presión, entre otros, en una señal eléctrica, la cual es transmitida a distancia para ser registrada y medida.

A través de este trabajo especial de grado se estudió las características de una trama satelital para uso de sistemas de telemetría, determinando la arquitectura básica y funcionamiento, utilizando como referencia los estándares CCSDS e IRIG 10-04 en los que se determina el esquema de la trama, y la distribución de los sensores dentro de ella. Debido a la gran cantidad de canales que puede llegar a tener una trama de telemetría (16384 bits), se estableció el mínimo de canales por trama, es decir (1784 bits), para realizar el prototipo o modelo de ésta.

Para el desarrollo del prototipo o modelo de la trama de telemetría se realizó un análisis de la frecuencia de la frecuencia que utiliza la trama dependiendo de la cantidad de octetos establecidos y de las velocidades de muestreo a utilizar (2400 bps, 4800 bps y 9600bps) y en base a éste cálculo se seleccionaron los sensores que mejor se adaptan, dependiendo de su frecuencia de muestreo, para así calcular la cantidad de canales que va a ocupar cada sensor dentro de la trama, y de ser el caso que se

submuestreen, entonces conocer cuántas trama necesitará dentro del formato, para que el envío de la información sea completa.

Finalmente se realizó el diseño del software que permite visualizar el formato de tramas, en las cuales estarán ubicados cada uno de los sensores con cada una de sus características, teniendo como esquema base el diagrama de flujo.

Como recomendaciones para futuros trabajos de grados se tienen:

- Realizar el diseño del software en Python o en Matlab, que permita visualizar el formato de tramas, con el número de octetos variables, para así no tener restricciones.
- Realizar el diseño del software en Python o en Matlab, que permita hacer dinámico la frecuencia de muestreo de la trama y no limitarse a 3 velocidades de muestreo
- Realizar el diseño de software en Python o Matlab, extendiendo la lista de sensores, teniendo que utilizar una metodología distinta.
- Implementar una simulación de sensores, los cuales envíen información de lectura, para luego hacer un análisis de forma de onda, discretizar y luego enviar en el formato de tramas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “*Medios de TX sistema satelital*”. [En línea], [Citado el 15/04/2017]. Disponible: <https://es.slideshare.net/luishdiaz/223c-medios-de-tx-sistema-satelital>.
- [2] Sáenz Roque. “Teoría de las comunicaciones”. Buenos Aires, Argentina: Departamento de ciencia y tecnología, Universidad Nacional del Quilmes. [En línea], [Citado el 09/12/2016]. Disponible: <http://www.urbe.edu/info-consultas/web-profesor/12697883/articulos/Comunicaciones%20Satelites%20y%20Celulares/Teoria%20de%20las%20Telecomunicaciones.pdf>.
- [3] “Estructura de un satélite”. [En línea], [Citado el 11/01/2017]. Disponible: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/162/5/A5.pdf>.
- [4] Ramón Martínez y Miguel Calvo. “*Subsistema de TT&C*”. Universidad Politécnica del Madrid. España, 2008.
- [5] Bernal, Castañeda, De la Cruz, Vargas y Villordo. “Diseño de una plataforma de comunicaciones de un satélite geostacionario de banda ka para utilizar la técnica de reúso de frecuencias” (Trabajo de titulación de ingeniero en telecomunicaciones). Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.
- [6] “*Hioki 8206-1, Registrador de voltaje monofásico*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: <http://www.cedesa.com.mx/hioki/registradores/voltaje/8206-10/>
- [7] “*Sensor de humedad DHT22*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: <http://tienda.bricogeek.com/home/526-sensor-de-humedad-dht22.html>

- [8] “*Sharp GP2Y0A21YK0F Analog Distance Sensor 10-80cm*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: <https://www.pololu.com/product/136/specs>
- [9] “*1042_0 - PhidgetSpatial 3/3/3 Basic*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: <https://www.pololu.com/product/136/specs>
- [10] “*Digital torque Meters with RS232 Output*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: <http://es.omega.com/pptst/HHTQ88.html>
- [11] “*Sensor de temperatura y humedad DHT22/ AM2302(C96)*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: <http://www.picaxe.biz/tienda/producto/AM2302/1/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht22-am2302-c96->
- [12] “*Sensor de distancia DT020-1*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: http://www.itpsoft.com/download/sensores/distancia_dt020.pdf
- [13] “*Sensor de presión DT015-1*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: http://www.itpsoft.com/download/sensores/presion_015_2.pdf
- [14] “*SOLAR-360 : 360° Inclinometer, RS232 or RS485 Output*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: <https://www.leveldevelopments.com/products/inclinometers/inclinometer-sensors/solar-360-1-rs232-inclinometer-sensor-single-axis-180-rs232-output/>
- [15] “*Programmable Digital Gyroscope Sensor*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADIS16260_16265.pdf

[16] Rango de Consejo de Comandantes. (2004). “Estándar IRIG 106-04 parte 1”. Nuevo México. U.S. Army White Sands Missile Range.

[17] Comité Consultivo para Sistemas de Datos Espaciales (CCSDS). (2014). “Flexible advanced coding and modulation scheme for high rate telemetry applications CCSDS 131.2-B-1”. Washington, DC, USA.

[18] Comité Consultivo para Sistemas de Datos Espaciales (CCSDS). (2003). “TM SPACE DATA LINK PROTOCOL CCSDS 131.0-B-1”. Washington, DC, USA.

[19] Comité Consultivo para Sistemas de Datos Espaciales (CCSDS). (2011). “RADIO FREQUENCY AND MODULATION SYSTEMS CCSDS 401.0-B”. Washington, DC, USA.

[20] Rafael Vázquez V. “Vehículos Espaciales y Misiles Tema 1: Introducción a la Dinámica y Control de la Actitud y al Sistema de Control y Estimación de actitud”. Departamento de Ingeniería Aeroespacial Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla. España. 2014

[21] “*Sensor de temperatura*”. [En línea], [Citado el 15/04/2017]. Disponible: http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf

[22] “*Subsistema de rastreo, telemetría y comando*”. [En línea], [Citado el 15/04/2017]. Disponible: <https://sites.google.com/site/rjsatelite/home/subistemas-del-satelite/subsistema-de-antenas/subsistema-de-comunicaciones/subsistema-de-energia-electrica/subsistema-de-control-termico/subsistema-de-posicion-y-orientacion/subsistema-de-propulsion/subsistema-de-rastreo-telemetria-y-comando>

[23] “*Sensores y transductores*”. [En línea], [Citado el 15/04/2017]. Disponible: http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf

[24] “*python*”. [En línea], [Citado el 1/04/2017]. Disponible: <https://www.python.org/>

[25] “*La órbita de los satélites geoestacionarios: tratamiento jurídico y posibilidades de acceso*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3061/Orbita_satelites_geoestacionarios.pdf?sequence=1

[26] “*La órbita de los satélites geoestacionarios: tratamiento jurídico y posibilidades de acceso*”. [En línea], [Citado el 10/04/2017]. Disponible: http://derecho.usc.edu.co/files/Derecho_espacial_ultraterrestre/Tesis/t_diana_rivas.pdf.

ANEXOS