

01130
19



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

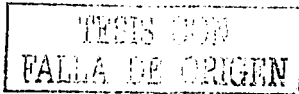
FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPURACIÓN, ACTUALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN
OPERATIVA DEL SOFTWARE DE RECEPCIÓN DE
TELEMETRÍA Y CONTROL DE OPERACIONES DEL
MICROSATÉLITE SATEX.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
P R E S E N T A
LUIS RAMÓN GUTIÉRREZ MEDINA

EJEMPLAR UNICO

ASESOR: M. I. ESAU VICENTE VIVAS



MEXICO, D. F.

2003.

Autorizado a la Presidencia y Consejo de Bibliotecas de
UNAM a circular en formato electrónico e impreso
conteniendo los datos de registro de la biblioteca

NOMBRE: Luis Ramón
Gutiérrez Medina

FECHA: 21-Agosto-2003

FORMA: [Handwritten initials]

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*"Todos los triunfos nacen cuando nos
atrevernos a comenzar, el precio de
la grandeza es la responsabilidad".*

Winston Churchill

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A DIOS
A MIS PADRES
A MIS HERMANOS MARTIN, ISMAEL,
ARACELI Y JORGE Y
A MIS CUÑADOS ESTHER, BLANCA,
VICTOR Y MANUEL.
A MIS SOBRINOS
Y A TODOS AQUELLOS QUE CONTRIBUYERON EN
MI FORMACIÓN PROFESIONAL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C

Un especial agradecimiento:

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, por su inagotable fuente de conocimiento.

A mis profesores de la FI, por su dedicación en la enseñanza.

A mi novia Berenice, por su apoyo, comprensión y paciencia en la realización de esta tesis.

A mi padrino Miguel Ángel Vicente que es una excelente persona y muy buen amigo en cada una de las etapas de mi vida.

A mi madrina María que es una mujer muy buena, sencilla, sincera y se siempre me apoyo para mi formación profesional.

A mis primos: "Romario", "Arni", "Alex", "Borja", "Güero", "Pepe", "Felix", "Cay", "Cofi", "Poncho", Marco "Abuelito", "Dario", "Verde", "Jorge", "Pavel", "Jair", "Toño", todas mis primas, tíos y familiares que no menciono por ser buenas personas.

A mis amigos de la FI: "Maromero", "Goku", "Chupes", "Teacher", "Los Totes", "Ramma", "Homer", "Andres", "Caballero", "Gerus", "Demos" y a todos los que formaron parte del equipo de fútbol fusión con los cuales compartí la realización de algún trabajo.

A mis amigos del proyecto SATEX en el instituto de Ingeniería: Carlos, Adán, José Luis, Juan, Alberto por formar un buen equipo de trabajo y ayudarme a la realización de esta tesis.

A mi asesor Esau por apoyarme en la culminación de este trabajo.

A todos aquellos que me apoyaron de manera desinteresada en mi desarrollo profesional y en la realización de este trabajo.

TESIS CON
FALLA DE CUBRIR

ÍNDICE

	PÁG.
Capítulo 1. Introducción	
1.1	Introducción 1
1.2	El proyecto microsatelital SATEX 2
1.3	Descripción general del microsátélite 5
1.4	Experimentos realizados por el microsátélite 9
1.4.1	Mantenimiento automatizado a la computadora de vuelo (MACV) 10
1.4.2	Comunicaciones ópticas espacio-Tierra 11
1.4.3	Cámara digital de percepción remota 13
1.4.4	Respaldo de comunicaciones por tonos 14
1.4.5	Estudio de propagación de señales en la banda Ka 14
1.5	Software de captura de telemetría y control satelital o software de estación terrena (SET) 15
Capítulo 2. Software de estación terrena del proyecto Satex	
2.1	Introducción 17
2.2	Lenguaje de programación utilizado para desarrollar el software de estación terrena 18
2.3	Estructura general del software de estación terrena 19
2.4	Envío de comandos y misiones 22
2.5	Recepción de telemetría y datos de estado operativo de equipos del microsátélite 26
2.6	Base de datos para almacenamiento y consulta posterior de la telemetría del microsátélite 30
2.7	Tramas y protocolos de comunicaciones utilizados 33
Capítulo 3. Actualización del software de estación terrena	
3.1	Introducción 39
3.2	Actualización del módulo de solicitud y captura de telemetría especial 39
3.3	Actualización y validación operativa del módulo de recepción de telemetría normal 42
3.4	Actualización del comando de búsqueda y detección del microsátélite 45
3.4.1	Comando para detectar al satélite 46
3.5	Actualización del módulo de visualización de resultados asociados al experimento MACV 47
3.6	Actualización del módulo de interacción con la computadora de sobrevivencia del microsátélite 51
3.7	Actualización del módulo de interacción con el experimento de comunicaciones ópticas 52
3.8	Actualización del módulo de interacción con la cámara digital 53

TESIS CON
FALLA DE CARGEN

Capítulo 4. Pruebas de validación operativa del software de estación terrena

4.1	Introducción	55
4.2	Equipo utilizado para realizar la validación del SET en laboratorio	55
4.3	Validación del proceso de envío de comandos y misiones al satélite	58
4.4	Validación de los procesos de captura, despliegue, almacenamiento y recuperación de telemetría	64
4.5	Validación de los resultados de estado operativo de equipos del microsatélite ...	72
4.6	Validación funcional del experimento MACV	74
4.7	Validación funcional del experimento de captura de imágenes	75

Capítulo 5. Interfaz operativa entre el SET y el sistema experto (SE) para el análisis de telemetría en línea y apoyo para la programación de misiones satelitales

5.1	Introducción	77
5.2	Intercambio de datos de telemetría entre SET y SE por medio de una base de datos (Bd)	80
5.3	Requerimientos del sistema	81
5.4	Entorno funcional del sistema experto	83
5.5	Interfaz entre el SE y el software de estación terrena	84

Capítulo 6. Certificación funcional del software de estación terrena

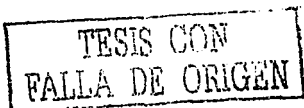
6.1	Introducción	85
6.2	Pruebas de certificación para el envío de comandos y misiones satelitales	85
6.3	Pruebas de certificación para el almacenamiento de telemetría satelital	87
6.4	Pruebas de certificación para el despliegue de telemetría normal y especial	90
6.5	Pruebas de certificación para la detección de fallas en equipo satelital por medio de telemetría	94
6.6	Pruebas de certificación para la captura de datos de estado de equipos del microsatélite	101
6.7	Pruebas de certificación para la interacción con el experimento de captura de imágenes digitales	108

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones

7.1	Introducción	111
7.2	Conclusiones	111
7.3	Recomendaciones	112

Bibliografía	115
--------------------	-----

Referencias WEB	117
-----------------------	-----



Objetivos y delimitación de la presente tesis

En 1994, el desaparecido Instituto Mexicano de Comunicaciones (IMC), impulsó un ambicioso proyecto que tenía el fin de diseñar, construir y validar un microsatélite, a dicho proyecto se le dio el nombre de SATEX, este proyecto es un esfuerzo mexicano para establecer un programa de desarrollo de tecnología espacial.

El proyecto SATEX ha experimentado diferentes etapas no sólo de financiamiento y organización, sino también de investigación y desarrollo. Sin embargo, se ha logrado la continuidad gracias a un grupo de personas que no declinaron su interés por el proyecto y que tuvieron en cuenta los beneficios que tiene para el país un proyecto de estas características, en otras palabras, para el desarrollo tecnológico.

Ante este escenario, la presente tesis se orientó principalmente hacia el desarrollo del software de recepción de telemetría y control de operaciones del microsatélite, este software evolucionó de un trabajo anterior de tesis, de tal forma que los objetivos de esta tesis corresponden al desarrollo de los siguientes módulos:

1. Software de la computadora de vuelo:

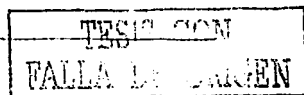
- Certificación de la decodificación y ejecución de comandos de misión.
- Adquisición y transmisión de telemetría normal al software de estación terrena.
- Programación del diagnóstico entre computadoras del microsatélite.
- Programación de la adquisición y transmisión de telemetría especial.
- Programación de la adquisición y transmisión de telemetría en sitio de lanzamiento.

2. Software de estación terrena:

- Depuración de la formación de tramas de los comandos en línea y de los comandos de misión.
- Depuración de la recepción, almacenamiento y recuperación de telemetría normal.
- Despliegue de los resultados de diagnóstico de equipos del satélite.
- Programación de la recepción, almacenamiento y recuperación de telemetría especial.
- Programación de la recepción, almacenamiento y recuperación de telemetría en el sitio de lanzamiento.

Cabe señalar que se excluyeron los siguientes puntos de software debido a que forman parte de otros trabajos de tesis que se desarrollaron en el IIUNAM:

- Software de envío de nuevo programa a la computadora de vuelo.
- Software de emulación de experimentos y validación operativa del software de vuelo.
- Sistema experto ejercido al software de estación terrena.
- Pruebas de certificación del software de la computadora de vuelo utilizando tiempos reales.
- Pruebas de certificación del software de la computadora de vuelo una vez integrado el satélite.
- Algoritmos de estabilización del satélite (desarrollo por parte del CIMAT).



PAGINACIÓN DISCONTINUA

Capítulo 1

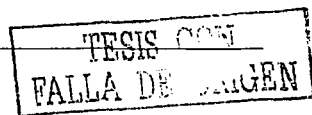
Introducción

1.1 Introducción

Con el surgimiento de los microprocesadores y con los avances de la microelectrónica, la computación y las telecomunicaciones, en la década de los años 80 diversas Instituciones y países inician actividades encaminadas a desarrollar satélites más pequeños, los que al incorporar tecnologías modernas han llegado a constituir medios altamente eficaces para validar nuevas tecnologías, formar recursos humanos de alta calificación y para que países no desarrollados puedan acceder al campo espacial. Así instituciones educativas, como la Universidad de Surrey en Inglaterra, tienen programas de investigación y desarrollo en el área de satélites pequeños y actualmente venden este tipo de tecnología a otros países. El interés mundial en los satélites pequeños ha ido en aumento rápidamente, lo cual se hace patente en el hecho de que grandes compañías, gobiernos, universidades y otras organizaciones han comenzado sus propios programas de satélites pequeños.

En la década de los 90 comenzaron a desarrollarse proyectos para colocar satélites menos pesados y costosos a altitudes cercanas a la superficie terrestre, en trayectorias circulares llamadas orbitas bajas o intermedias. Con estos tipos de satélites se pueden formar constelaciones que son un conjunto de satélites que se encuentra girando alrededor de la Tierra a una velocidad mucho más rápida que esta. Los servicios para estas primeras constelaciones fueron principalmente orientados a terminales personales portátiles de telefonía, radiolocalización y transmisión de datos a tasas bajas. Una ventaja que se presenta con este tipo de satélites comparándolos con satélites geoestacionarios es que presentan una menor atenuación en la propagación de señales en los enlaces tanto de subida como el de bajada, por lo cual con estos podemos utilizar unidades de transmisión menos potentes que los anteriores, antenas de alta ganancia y dispositivos de recepción muy sensible pero no tan eficientes como los que se utilizarían si fuera el caso de satélites geoestacionarios, esto sucede por que se encuentran mucho más cerca de la superficie terrestre, con el inconveniente de que solo son visibles por un corto tiempo.

Formando una constelación, pueden trabajar en relevos para que las comunicaciones no se interrumpan, sus planos ya no tienen que coincidir con el plano ecuatorial por lo que pueden tener una cierta inclinación con respecto a este lo que no pasa con satélites geoestacionarios que su inclinación tiene que coincidir con el plano ecuatorial. La constelación ICO de orbita intermedia utiliza dos planos con 45° de inclinación, mientras que la constelación Globalstar de orbita baja emplea 48 satélites distribuidos en seis planos con diversas inclinaciones. Actualmente estas constelaciones de satélites pequeños, tales como Iridium, Teledesic y Globalstar han sido propuestas para proporcionar comunicaciones móviles de fácil acceso y alta capacidad, para la transmisión de voz y datos con cobertura mundial.



En México, desde hace algunos años se ha tratado de ingresar a la investigación de satélites de órbita baja. Los primeros intentos fueron realizados por la Universidad Nacional Autónoma de México por medio del Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Espacial (PUIDE), que realizó dos intentos por colocar microsátélites de órbita baja en el espacio. El primer intento fue por medio del UNAMSAT-A, el cual fracasó debido a una falla en el sistema de lanzamiento del cohete que lo colocaría en órbita. El segundo intento, llamado UNAMSAT-B, logró ponerse en órbita, pero funcionó correctamente sólo por un par de meses.

En 1994, el ahora desaparecido Instituto Mexicano de Comunicaciones (IMC), impulsó un ambicioso proyecto que tenía el fin de diseñar, construir y validar un microsátélite, con la intención de desarrollar tecnología espacial cien por ciento mexicana. A dicho proyecto se le dio el nombre de **SATEX**.

1.2 El proyecto microsateital SATEX

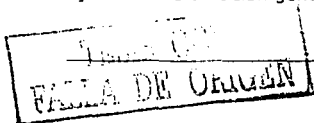
Las actividades espaciales, constituyen un motor de generación de tecnología de punta, que agrupan campos de la ciencia y la industria para desarrollar nuevas tecnológicas. En el caso del proyecto SATEX se reconoció con ello la oportunidad para validar nuevas tecnologías de telecomunicaciones, así como la formación de recursos humanos. El proyecto SATEX surgió con la motivación de consolidar el desarrollo de las ciencias espaciales y de las telecomunicaciones en México.

El objetivo de la misión es diseñar, construir y validar de un microsátélite experimental en un ambiente universitario y multi-institucional, que permita al desarrollo de una misión enfocada a la investigación en telecomunicaciones y a la generación de una plataforma multi-misión con capacidad evolutiva, adaptable a diversos requerimientos.



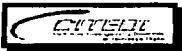

Este proyecto es una realidad gracias a la participación de estudiantes jóvenes e investigadores, estos últimos han logrado la promoción de convenios de colaboración académica entre instituciones nacionales para hacer posible el desarrollo de tecnología espacial 100% mexicana aplicable a futuros proyectos.





Durante el ciclo de vida del proyecto SATEX, éste ha pasado por diversas etapas, en un principio todos los integrantes avanzaban de forma continua, posteriormente, a medida que ha evolucionando el proyecto se han encontrado diversos obstáculos que han impedido un desarrollo sostenido por parte de las instituciones involucradas. El principal problema ha sido el financiamiento, a pesar de ello, el Instituto de Ingeniería y algunas de las instituciones participantes han seguido trabajando de manera continua, por lo que los subsistemas a cargo de cada institución se encuentran en la fase final de su desarrollo.

Las instituciones que actualmente participan en el proyecto son: El Instituto de Ingeniería y el de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), el Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada (CICESE), el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), el Centro Nacional de Metrología (CENAM), así como la ESIME-TICOMAN, el Centro de Investigación en Tecnología Digital (CITEDI) y la Sección de Graduados de la ESIME del Instituto Politécnico Nacional (IPN), esta última institución ejerce la coordinación general del proyecto.



A continuación se listan las instituciones así como los subsistemas que desarrollan:

	<p>CICESE (Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada) http://www.satex.org.mx</p> <p>Subsistemas que desarrolla:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Equipos de Comunicaciones: Radio 1 y Radio 2. ✓ Experimento de Comunicaciones Ópticas (CUO). ✓ Procesador de sobre vivencia ó Decodificador de Tonos (DT). ✓ Hardware de estación terrena.
	<p>CIMAT (Centro de Investigación en Matemáticas) http://www.cimat.mx</p> <p>Subsistemas que desarrolla:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Modelado de la dinámica orbital del vehículo, de campo magnético terrestre y de estabilización en tres ejes. ✓ Algoritmos de estabilización del satélite. ✓ Validación terrestre del sistema de estabilización.
	<p>CITEDI (Centro de Investigación en Tecnología Digital) http://www.citedi.mx</p> <p>Subsistemas que Desarrolla:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sistema de Potencia. ✓ Celdas Solares. ✓ Baterías.
	<p>INAOE (Instituto de Astrofísica Óptica y Electrónica) http://www.inaoe.mx</p> <p>Subsistema que desarrolla:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Transmisor en banda Ka (en estación terrena a 23 GHz).

	<p>IPN (Instituto Politécnico Nacional) http://www.ipn.mx</p> <p>El IPN es el encargado de la coordinación general del proyecto y es responsable de los siguientes subsistemas:</p> <p>A través de la Escuela de Ingeniería Aeronáutica:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Integración y pruebas <p>A través de la sección de graduados de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, ESIME:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Bobinas de torque magnético (BTM) ✓ Experimento en banda Ka
	<p>UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México) http://pumas.iingen.unam.mx</p> <p>La UNAM, a través del Instituto de Ingeniería, tiene a cargo el desarrollo de los siguientes subsistemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Computadora de vuelo ✓ Sensores de corriente, temperatura y magnetómetros ✓ Hardware de acondicionamiento y Multicanalización de sensores ✓ Protocolos para telemetría y comando ✓ Hardware y software para la red interna del satélite ✓ Software de vuelo ✓ Software de estación terrena ✓ Participación en el experimento de la cámara digital ✓ Sistema experto para control de misión <p>Experimento de arquitectura de computadoras "Computadora Semivirtual Tolerante a Fallas Bizantinas"</p>
	<p>UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México) http://pumas.iingen.unam.mx</p> <p>La UNAM, a través del Instituto de Geografía, tiene a cargo el desarrollo de los siguientes subsistemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fabricación de una mesa suspendida en aire para la validación de los algoritmos de estabilización del satélite ✓ Sensores finos de sol
	<p>CENAM (El Centro Nacional de Metrología)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pruebas de Vibración. ✓ Pruebas de compatibilidad Electromagnética para equipos electrónicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.3 Descripción general del microsatlélite

Debido a la distancia en que orbitará el satélite respecto a la superficie terrestre se clasifica como LEO (órbita baja), su altitud será aproximadamente 760[km] de distancia con respecto a la Tierra, este tipo de satélites tienen la desventaja de no ser estáticos ya que recorren todo el planeta pero tiene la ventaja de poder capturar imágenes de cualquier parte del mundo. El SATEX es un cubo de 55[cm] por lado y de 50[Kg] de masa, de acuerdo a la tabla el SATEX se considera como un microsatlélite. El diseño de su estructura se basa en un cuerpo cilíndrico central en el que se fijan tres placas perpendiculares sobre las cuales se probó el espacio y el soporte físico para alojar y fijar equipos, brindando integridad y rigidez al satélite.

CLASIFICACIÓN	MASA [Kg]
Satélite grande	> 1000
Satélite mediano	500-1000
Mini satélite	100-500
Micro satélite	10-100
Nano satélite	1-10
Pico satélite	0.1-1
Femto satélite	< 0.1

Tabla 1.1 Clasificación de los satélites según su masa.

Los pisos internos permiten distribuir los esfuerzos ejercidos en el tubo central y al mismo tiempo sirven de soporte para los equipos, también absorbe los esfuerzos térmicos producidos en las fases de integración, pruebas, lanzamiento y puesta en órbita. Además, el tubo central actúa como soporte para el Gradiente Gravitacional. Adicionalmente, provee la tierra física para los equipos electrónicos del microsatlélite.

Las placas que se ubican en los extremos constituyen dos de las paredes del satélite, la superior aloja al gradiente gravitacional, y la inferior contiene la interfaz con el sistema de lanzamiento así como las ventanas que ofrecen contacto visual con Tierra para los experimentos que lo requieren. La estructura se construyó con aluminio 7075-T6 con baño de Alodine y tiene una masa aproximada de 10.4 [Kg]. En la figura 1.a se muestra la estructura y en la figura 1.b se muestra el gradiente gravitacional. SATEX I.

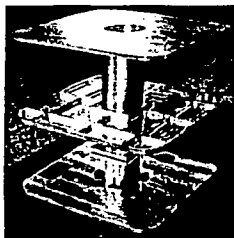


Figura 1.1 a) Estructura del SATEX I.

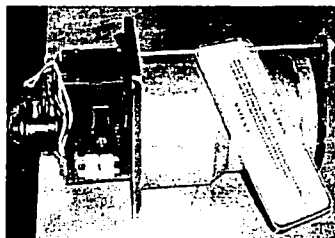


Figura 1.1 b) Gradiente Gravitacional.

La estabilización del satélite se realiza de dos formas:

- ✓ Estabilización pasiva. Se utiliza un Gradiente Gravitacional (Figura 1.b, GG), el cual tiene una longitud de 6 metros (desplegado totalmente) y una masa terminal de 2.5 [Kg].
- ✓ Estabilización activa. Formada por seis Bobinas de Torque Magnético (BTM), que al alimentarlas con una corriente constante generan un par de corrección triaxial en presencia del campo magnético terrestre.

A su vez, las caras laterales de los entrepisos del contenedor (figura 1.1 a) se cubren por celdas solares para generar la energía eléctrica que se suministrará a subsistemas electrónicos, durante los periodos de iluminación y de eclipse. La administración y el control del consumo de energía se realizan en una computadora, denominada Sistema de Potencia (SP). El Sistema de potencia se encarga de la distribución de la corriente y los voltajes eléctricos para cada uno de los sistemas del satélite.

Para realizar de forma eficiente la administración de los recursos energéticos, cuenta con un microprocesador digital de calificación militar. El sistema comprende: los tableros solares, baterías, medios para regular la carga de la batería y convertidores de corriente directa con los cuales se realiza la distribución y el control de los voltajes demandados por cada equipo del satélite. Este subsistema se alimenta de tableros solares que contienen un arreglo paralelo de dos cadenas de 44 celdas de Silicio en serie que brindan 25.2[W], 21[V] a 1.2[A] y cargan a una batería compuesta por dos arreglos en paralelo de 16 celdas NiCd en serie de carga rápida que generan 19.2[V] a 3400[mA].



Figura 1.2 Celdas Solares del SATEX.

Con el propósito de supervisar las operaciones del satélite, se requiere que reporte datos de consumo de corriente, de voltaje y de temperatura de sus principales sistemas durante toda su vida útil. Por ello el SATEX cuenta con un número considerable de sensores de corriente, voltaje y temperatura, ubicados en puntos estratégicos.

La lectura de estos sensores se realiza en dos computadoras: la Computadora de Vuelo (CV) y el Sistema de Potencia (SP).

En la tabla siguiente se muestran los sensores asignados a la CV.

	NUMERO DE SENSORES				Total
	Corriente	Temperatura	Magnetómetros	Finos de Sol	
Computadora de Vuelo (CV)	11	23	6	8	48

A su vez, la determinación de la orientación del satélite se efectúa con el auxilio de dos tipos de sensores:

- ✓ Sensores Finos de Sol (SFS). SATEX cuenta con cuatro sensores finos de sol que proporcionan información de ángulo solar en dos ejes del satélite.
- ✓ Magnetómetros triaxiales. Se tienen dos magnetómetros triaxiales idénticos (principal y respaldo), los cuales permiten obtener lecturas de campo magnético terrestre en tres ejes (6 sensores).

A continuación se muestran los sensores que va a reportar el Sistema de Potencia, este sistema a su vez reporta con un sensor extra (no incluido en la tabla) el porcentaje de carga existente en el satélite en ese momento.

	NÚMERO DE SENSORES				
	Corriente	Voltaje	Temperatura	Disponibles	Total
Sistema de Potencia (SP)	5	5	3	3	17

En total el satélite cuenta con 65 sensores para formar los paquetes de telemetría que serán enviados a Tierra para reportar las condiciones de operación del microsatélite de modo que se pueda tener una idea clara de su estado funcional cuando se encuentre en órbita.

Los sensores requieren de un módulo electrónico que permita el acondicionamiento eléctrico de las señales de sensores, fuertemente ligado al sistema de comando principal para realizar de forma automática la adquisición y transmisión de los datos recabados.

Las antenas de VHF/UHF están compuestas por dos arreglos de monopolos, localizados en la cara sur del satélite, cada uno inclinado a 45° y ubicados en la placa inferior de la estructura del satélite, por su cara exterior, con esta inclinación se asegura que no obstruya la visión para las cargas útiles. Los monopolos miden 41[cm] de longitud, fabricados con cinta de acero flexible para plegarlos durante el lanzamiento. Su despliegue se efectúa fundiendo un cinturón de polietileno una vez que el satélite sea liberado del vehículo lanzador. En la figura 1.3 se aprecia la colocación y forma preliminar de las antenas de comunicación.

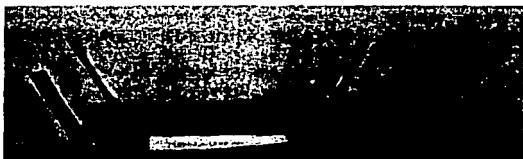
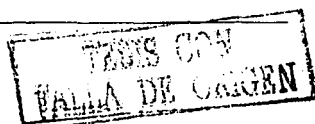


Figura 1.3 Antenas de Comunicación del SATEX I.

El sistema de comunicaciones está compuesto por dos transmisores: uno principal y otro redundante, que operan en la banda de 138-144[MHz], y por dos receptores (principal y redundante) que trabajan en la banda de 395-405[MHz], con los cuales se establecen comunicaciones a velocidades de 1200, 2400 y probablemente también a 4800 bauds. De los equipos utilizados, uno de ellos, tanto transmisor como receptor fueron totalmente desarrollados en el CICESE utilizando componentes de calificación militar.



Dentro de SATEX se encuentra una red de área local con cinco nodos formados por los procesadores de la Computadora de Vuelo (CV), la Carga Útil Óptica (CUO), la Cámara Digital (CD), el Sistema de Potencia (SP) y el Decodificador de Tonos (DT), este último también llamado Procesador de Supervivencia (PS). La comunicación entre las computadoras del satélite, se efectuará a través de una red de difusión del tipo "todos hablan y todos escuchan", controlada de forma centralizada por la computadora de vuelo, es decir, la CV funge como servidor de la red de área local (RAL) [VICENTE, 1999], cuenta además con una red redundante.

Según la clasificación de [TANENBAUM, 1997], la red interna de SATEX con la cual se comunican las computadoras, es una red tipo "Multi-computadora"; ya que la distancia entre los procesadores del satélite no sobrepasa un metro de distancia.

Otra de las características de SATEX I, es la tolerancia a fallas de la CV por medio de software, el cual controla los recursos de hardware redundantes de su arquitectura.

SATEX lleva a bordo 5 computadoras, por medio de las cuales realiza el control y la ejecución de sus tareas. La computadora de vuelo fue diseñada y construida por la UNAM; se encarga de controlar las comunicaciones entre las computadoras del satélite y las comunicaciones con Tierra. La CV cuenta también con software para controlar la estabilización del satélite y software para la captura de datos de sensores. Además, lleva el control del tiempo orbital y por tanto, el control sobre la ejecución de tareas en todo momento.

La CV es un sistema modular constituido por 6 circuitos impresos instalados dentro de un contenedor de aluminio que se arma por capas. La CV contiene principalmente componentes electrónicos de tipo militar y de montaje superficial para afrontar las fases de lanzamiento espacial y de operación estable en el espacio.

Su arquitectura modular integra a dos tarjetas de procesadores, de los cuales se utiliza uno solo a la vez para controlar al satélite, en tanto que el otro restante queda disponible como refacción en frío. Cada tarjeta de procesador reúne los recursos necesarios para realizar las operaciones de automatización en el satélite, en la figura 1.4 a) y 1.4 b) se presentan vistas de la computadora de vuelo, en las 2 siguientes se muestra el contenedor de aluminio que aloja a la CV.

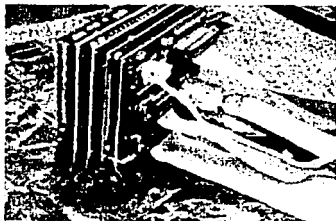


Figura 1.4 a) Computadora de Vuelo.

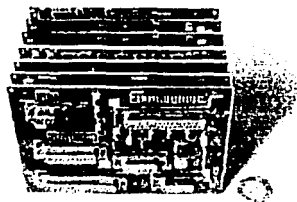


Figura 1.4 b) CV del SATEX I.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura 1.4 c) Contenedor de Aluminio

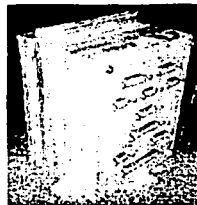


Figura 1.4 d) Contenedor de Aluminio.

De las otras tres computadoras (CUO, CCD y DT) se hablará más adelante en el presente capítulo.

La ubicación de la estación terrena está planeada para ubicarse en la Ciudad de Ensenada, Baja California, debido a que CICESE es responsable del experimento de Comunicaciones Ópticas. Baja California es un sitio de baja nubosidad y baja precipitación pluvial, lo cual la convierte en un sitio idóneo para realizar comunicaciones Ópticas.

En cuanto al hardware de Estación Terrena, agrupa a los equipos suficientes para rastrear y localizar al satélite cuando éste sobrevuele el sitio geográfico en donde se ubica la estación terrena de seguimiento y control. Consiste de antenas, un subsistema de rastreo, equipo de radiofrecuencia y varias computadoras personales.



Figura 1.5 a) Antenas en ET.

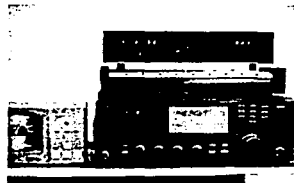


Figura 1.5 b) Equipos de RF utilizados.

En cuanto al tiempo de vida útil de SATEX, se ha estimado en un año; sin embargo este tiempo podría llegar a expandirse como ha sucedido con otros microsátélites.

1.4 Experimentos realizados por el microsátélite

En el proyecto se tiene planeado realizar una serie de experimentos los cuales son: el mantenimiento automatizado de la computadora de vuelo (MACV), comunicaciones ópticas espacio-Tierra, cámara digital de percepción remota, respaldo de comunicaciones por tonos y el estudio de la propagación de señales en la banda ka, de los cuales se hablará a continuación.

1.4.1 Mantenimiento Automatizado de la Computadora de Vuelo (MACV)

Para automatizar el proceso de mantenimiento de la computadora de vuelo la UNAM implantó una arquitectura de cómputo semivirtual tolerante a fallas Bizantinas.

La organización topológica de las computadoras del satélite se controla por medio de comandos de software (desde la estación terrena), de esta forma se arma una arquitectura semivirtual que contiene una parte física formada por la computadora de vuelo y una parte virtual formada por las computadoras de carga útil (experimentos), además, cuenta con procesadores redundantes en ambas partes de la arquitectura.

En cuanto a la detección de fallas, la arquitectura utiliza procesos de voto mayoritario de resultados de diagnóstico de sus nodos computacionales [Torres, 2002].

Esta arquitectura persigue realizar de forma automatizada las tareas de diagnóstico, detección y reconfiguración ante fallas de la computadora más crítica del satélite, es decir, la computadora de vuelo.

Para conformar este experimento se desarrolló hardware y software especializado.

- **Hardware:** Se cuenta con redundancias en ciertos sistemas críticos para el funcionamiento del microsatélite, como la computadora de vuelo y la red interna de comunicaciones entre computadoras.
- **Software:** Se ubica en algoritmos que conducen procesos de diagnóstico, detección de fallas, así como la conmutación de equipos en caso de una posible falla.

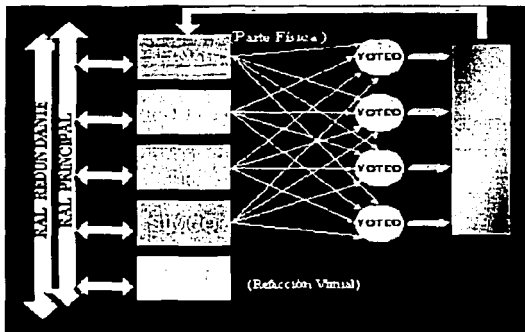
En cuanto al sistema de detección de fallas en equipos denominado voto Bizantino, permite evaluar el estado de cada una de las computadoras que integran al satélite.

Para satisfacer los requisitos de la técnica utilizada para detectar fallas Bizantinas, el algoritmo de voto requiere de la participación de 4 nodos computacionales, por ello inicialmente la arquitectura utiliza al sistema de potencia (SP) que siempre estará encargado; el sistema de sobrevivencia o detector de tonos (DT) quien dará el mantenimiento a la computadora de vuelo realizando la conmutación entre procesadores en caso de que falle alguno; la computadora de vuelo (CV) y la carga útil óptica (CUO), dejando a la cámara digital (CCD) como procesador de refacción para la parte virtual en caso de fallas en la carga útil óptica (CUO).

Este modo de operación será utilizado como un experimento adicional del microsatélite, el cual constituye una más de las Innovaciones y aportaciones del proyecto SATEX en el área de microsatélites.

La arquitectura semivirtual tolerante a fallas se activará por software cada 10 minutos y durante su conformación requiere la ayuda de al menos tres computadoras de carga útil (experimentos) del satélite en un lapso de tiempo de milisegundos.

En la figura 1.6 se muestra un diagrama de bloques del experimento MACV.



1.4.2 Comunicaciones Ópticas espacio-Tierra

El objetivo general es el diseño, construcción y validación espacial de un sistema transmisor-receptor para comunicaciones ópticas (en el cercano infrarrojo) con dirección satélite-Tierra.

La carga útil óptica consta de un transmisor en el cercano infrarrojo a bordo del microsátélite y una estación receptora en Tierra.

La importancia del experimento radica en el amplio potencial que ofrecen las comunicaciones ópticas en el espacio libre, alternativa que ya se explota entre pequeñas constelaciones de satélites.

Adicionalmente los sistemas ópticos pueden operar a altas velocidades y requieren para obtener una ganancia determinada menores diámetros de antenas que los sistemas de RF debido al intervalo de frecuencias en las que trabaja.

Se tienen limitantes en cuanto a volumen, peso y consumo de potencia impuestos por las características de la misión, por lo que todos estos parámetros se tienden a optimizar durante el diseño del sistema.

Además se busca obtener la mínima transferencia de acoplamiento para el movimiento de la antena óptica del satélite, alta sensibilidad y un intervalo dinámico considerable para el detector en Tierra.

El proceso de comunicación comprende los modos de adquisición, apuntamiento y seguimiento, los cuales forman un sistema complejo de control para ubicar el haz que transmite el satélite, estos pasos se describen a continuación:

- Adquisición: el sistema tiene que adquirir la señal del láser faro (beacon) en su campo de visión.

- Apuntamiento: el sistema en el microsatélite alinea su sistema de espejos con la línea de vista del receptor en Tierra. Este tiene que centrar el haz del láser en la superficie de detección.
- Seguimiento: en esta etapa se comienza a enviar la información, manteniendo el sistema alineado. La antena transmisora se ajusta para mantener el haz centrado en el detector.

El diagrama general del enlace óptico se muestra en la figura 1.7.

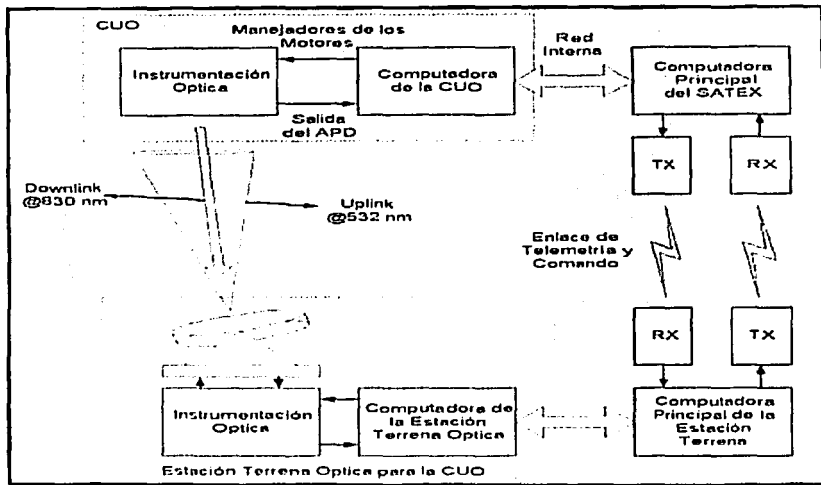


Figura 1.7 Diagrama del enlace óptico.

La antena transmisora es manejada por un microcontrolador dedicado que convierte los datos del sistema de localización, el de orientación y del detector en señales manejables. Este microcontrolador interactuará con la computadora principal a bordo del microsatélite.

La microcomputadora está basada en un procesador Siemens de 16 bits y programada en Lenguaje "C". Cuenta con interfaces para controlar la posición de dos espejos con los cuales se realiza el apuntamiento fino del transmisor óptico, para un sensor de cuadrante que sensa el haz disperso transmitido por la estación terrena para dar a conocer su posición geográfica, además de dos canales de comunicaciones con la RAL (Red de Área Local). Cuenta también con software de operaciones y con el software de operaciones para la RAL.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

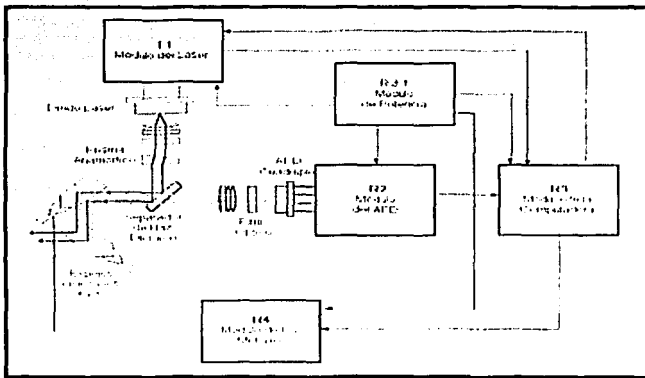


Figura 1.8 Diagrama a bloques de la CUO.

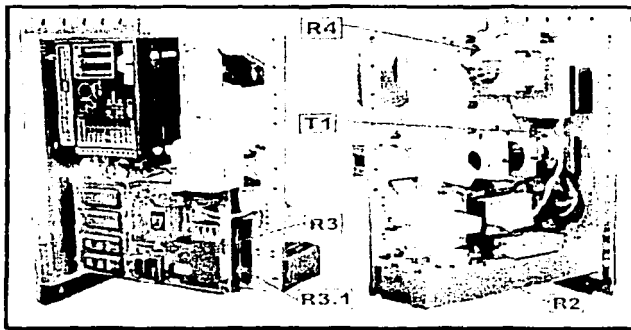


Figura 1.9 Carga Útil Óptica.

1.4.3 Cámara Digital de percepción remota

Con este experimento que está siendo desarrollado por el CITED1, se intenta poner en órbita una cámara CCD (por sus siglas en inglés *Charge Coupled Device*) de mediana resolución con el fin de adquirir imágenes de cualquier parte del globo terrestre de acuerdo con misiones especificadas desde Tierra. Con ello se dará una muestra palpable de la operación y desempeño del microsatélite.

El experimento cuenta con una cámara digital con resolución de 1200 por 1200 píxeles, programable vía puerto serial y con un procesador dedicado con memoria local para el almacenamiento de cuatro imágenes. El procesador utilizado es un Tiger de 16 bits, el cual integra toda la memoria requerida por el experimento.

La cámara es de tipo comercial con adaptaciones para vuelo orbital, por lo cual permanece apagada la mayor parte del tiempo para evitar el efecto "latch-up" en sus componentes VLSI, detalles del efecto "latch-up" [Ortiz, 2003]. El procesador también permanece apagado mientras no existan peticiones de imágenes, y una vez solicitada una imagen el sistema de potencia se encarga de activar la cámara digital y de programarla para la captura de píxeles. Posteriormente desactiva la cámara y el procesador permanece energizado en modo de bajo consumo de potencia hasta que el microsatélite visita su estación terrena. La microcomputadora cuenta además con dos canales de red para la RAL, así como con software de red y de operaciones.

1.4.4 Respaldo de comunicaciones por tonos

El experimento de comunicación por tonos, denominado Detector de Tonos (DT), es un sistema mínimo de comunicaciones que utiliza tonos de audio codificados (DTMF) con una secuencia prefijada para ordenar acciones básicas de control en el microsatélite (como el encendido y el apagado de transmisores, reconfiguración de la computadora de vuelo, etcétera). El sistema se basa en un microcontrolador militar Intel programado en lenguaje "C", con interfaces para la activación de equipos, con dos puertos de comunicaciones y software para integrarse a la red RAL.

El equipo representa un medio alternativo de comunicación en caso de falla de las computadoras que controlan el vehículo espacial. Debido a ello, a esta computadora también se le denomina Procesador de Supervivencia.

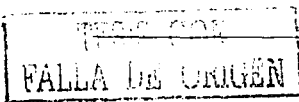
La importancia de esta computadora es que por la pocas tareas que realiza dentro del microsatélite y por su mínima cantidad de componentes fue la elegida para dar el mantenimiento automatizado a la computadora de vuelo una vez que se detecte alguna falla en el experimento denominado voooteo bizantino.

Al construir el último procesador con el que se pueden realizar las comunicaciones microsatélite-Tierra, realizan funciones de control satelital en caso de que fallen los radios de comunicación.

1.4.5 Estudio de propagación de señales en la banda ka.

El objetivo del experimento es lograr un enlace de comunicaciones Tierra-satélite en el espectro de frecuencias Ka, cerrando el lazo de comunicación con el enlace de radiofrecuencia, es decir, por medio de los equipos VHF del microsatélite.

Contiene una antena y electrónica de recepción diseñadas para trabajar a una frecuencia de 23[GHz]. La antena es de tipo corneta, de forma cónica circular recta, la cual se conecta a una guía de onda cilíndrica. Tiene una impedancia de 50[Ω] y proporciona una ganancia de 10[dB]. La polarización de esta antena es de tipo circular.



El segmento satelital de este experimento esta siendo desarrollado por la Sección de Graduados de la ESIME-IPN, el experimento tiene considerado realizar mediciones de atenuación en la banda de los 23[GHz] mediante la transmisión en sentido Tierra-microsatélite de una señal modulada en dicha frecuencia.

El receptor en el satélite adquiere la señal de Tierra realizando una conversión a radio frecuencia 400[MHz] retransmitiendo esta señal de forma directa a Tierra a través de la parte de potencia del radio de telemetría.

En la figura 1.10.a se muestra un diagrama del experimento y en la 1.10.b se muestra la antena utilizada para dicho experimento. Por otro lado el segmento en Tierra se esta desarrollando en el INAOE, el cual consiste de la estación terrena transmisora en banda Ka a la frecuencia de 23[GHz].

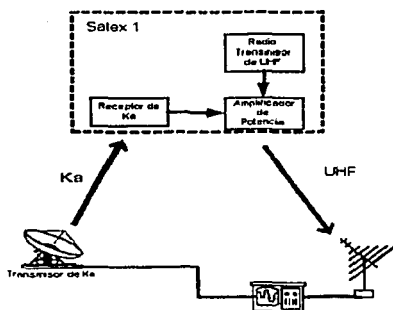


Figura 1.10 a) Experimento de la CUO.

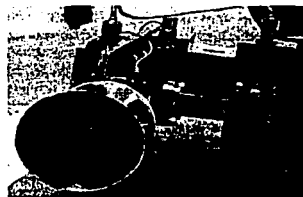


Figura 1.10 b) Antena de corneta receptora.

1.5 Software de captura de telemetría y control satelital o software de estación terrena (SET)

El software de la computadora de vuelo del microsatélite está vinculado fuertemente con el software de la estación terrena, pues la mayor parte de las acciones que realiza el satélite son especificadas por el SET.

El software satelital realiza periódicamente el muestreo, almacenamiento y empaquetamiento de telemetría (tanto de sensores como del estado operativo de equipos) y lo envía posteriormente hacia Tierra cuando se enlace con la estación terrena.

El SET permite la supervisión y control del satélite, logrando un enlace con la computadora de vuelo mediante software para permitir el acceso ordenado y seguro al microsatélite utilizando protocolos propietarios de comunicaciones.

Después de que la CV reciba comandos en línea desde el SET, los ejecutará inmediatamente cuando son de su dominio, mientras que cuando van dirigidos a cualquiera de los experimentos los transfiere de inmediato a la computadora indicada.

Respecto a los comandos de misión, una vez decodificados por la CV se almacenan en un "stack" para calendarizarlos una vez que el satélite queda fuera de vista de su estación terrena, como en el caso de la captura de imágenes o de telemetría especial o normal, que se realiza en cualquier sitio del globo terrestre.

Del satélite se obtendrán datos de 65 sensores, además de información operativa de la mayor parte de sus equipos electrónicos, los cuales serán reportados en el SET de manera visual para tener una idea más clara de su funcionamiento. Adicionalmente se contará con comandos de solicitud y de respuesta de datos en línea para aquellos experimentos que lo requieran, como en el caso del experimento de comunicaciones ópticas y comunicaciones en banda Ka.

El SET permite realizar la supervisión y el control del microsátélite, por lo cual todas las ayudas que pueda proveer, las alternativas operativas, la flexibilidad que tenga para interactuar con el microsátélite, así como su facilidad de uso y de despliegue de información, serán aspectos clave para aprovechar al máximo el vehículo espacial. Se debe subrayar que una parte muy importante del software de estación terrena lo constituyen los protocolos y sus tramas de comunicaciones, los cuales son completamente compatibles con los utilizados por la computadora de vuelo satelital. Esos procedimientos y reglas se encuentran alojados en las etapas de software relacionadas tanto con la adquisición de telemetría e imagen, como en las secciones de envío de comando y misiones. También ofrecerá resultados del diagnóstico de equipos del microsátélite, alertando al usuario en casos de fallas con alarmas visuales, y permitirá programar también el tiempo de adquisición para capturar imágenes en el satélite, así como su captura en la estación terrena. Adicionalmente, admite la definición de valores límite para establecer los umbrales de alarma para cada sensor del microsátélite así como su almacenamiento en una base de datos. Paralelamente interactuará con las cargas útiles del microsátélite ya sea para transmitirles parámetros o bien, para capturar información (datos operativos, imágenes, etcétera).

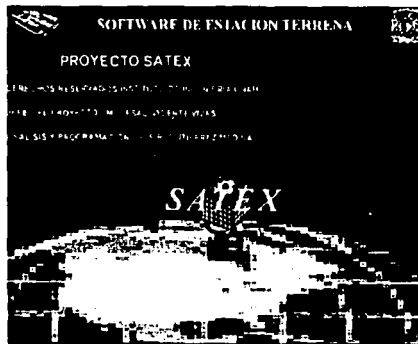


Figura 1.11 Presentación del Software de Estación Terrena.

Capítulo 2

Software de Estación Terrena del Proyecto SATEX

2.1 Introducción

Todo satélite es un nodo o un punto intermedio de la red de comunicaciones de la que forma parte, la cual se complementa con las estaciones terrenas que se comunican a través del satélite. Una estación terrena esta compuesta una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es su antena o reflector parabólico (en algunos casos ya que en ciertas aplicaciones de VHF y UHF también pueden usar antenas Yagui, helicoidales o arreglos de las mismas, debidamente orientadas). El término estación terrena se utiliza indistintamente para indicar todo equipo terminal que se comunica desde la Tierra con un satélite, sin importar si es móvil o si está fijo o en algún sitio.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM ha desarrollado el software de estación terrena del microsatélite SATEX con una interfaz de gran calidad gráfica, de presentación amigable, atractivo y avanzado.

Para desarrollo se hizo un análisis de necesidades, de oportunidades y se decidió crear las innovaciones de instrumentación virtual para el despliegue de datos de telemetría. En este sentido el SET ofrece información de telemetría auxiliándose de diagramas y animaciones de equipos generados virtualmente (3D) que facilitan la interpretación del estado operativo de las cargas útiles del microsatélite así como de sus sensores. También, exhibe gráficas bidimensionales con ampliaciones de cualquiera de ellas, para mostrar el comportamiento de los sensores respecto al tiempo. Con estas ayudas, se persigue simplificar el proceso de diagnóstico y la interpretación del comportamiento del microsatélite.

El software de vuelo del microsatélite realizará la comunicación con Tierra para establecer el medio de control remoto a través del cual se le indicarán las tareas o los experimentos a realizar. Para que exista tal comunicación necesita su complemento en Tierra el cual se encargará de enviar comandos específicos para la ejecución de dichas tareas en el microsatélite como la captura de imágenes y la adquisición de telemetría (normal y especial), para dar lugar a la recepción de esta información en Tierra. Además, permite el envío de parámetros a cualquiera de las cargas útiles mediante comandos.

El personal que controlará el microsatélite utilizará el SET para enviar una serie de comandos para especificar las tareas que el microsatélite deba realizar, estos comandos se catalogan como comandos de línea y comandos de misión. Cada categoría tiene características propias en lo que se refiere a las actividades que se generan cuando éstos llegan al microsatélite.

El Microsatélite puede obtener los siguientes reportes:

- > Información de Telemetría Normal.
- > Información de Telemetría Especial.
- > Información del Estado de los equipos.
- > Información del Estado de los 5 microprocesadores instalados en el SATEX.

- Imágenes.
- Información del experimento de votoe.

Para cada una de estas opciones, se tiene diseñado e implantado funciones específicas de comunicación. En este capítulo se describe cada uno de estos procedimientos y los procesos de adquisición de información, se comentan también los escenarios bajo los cuales se envían solicitudes de información al satélite a demás de aquellas circunstancias que requerirán almacenar la información, recuperarla e interpretarla de acuerdo con parámetros propios del satélite.

2.2 Lenguaje de programación utilizado para desarrollar el software de estación terrena

Las interfaces gráficas de usuario o GUI (del Inglés, Graphical User Interfaces) han revolucionado la industria de las microcomputadoras, debido a que una imagen vale más que mil palabras por lo que estas aplicaciones tienen que ser consistentes, es decir, los usuarios pueden disponer de menos tiempo para dominar la aplicación y requerir menos restricciones acerca de las teclas por pulsar dentro de los menús, por ello se necesita utilizar la herramienta GUI para desarrollar aplicaciones eficientes.

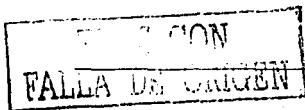
Cuando no existían los lenguajes visuales como Visual Basic el desarrollo de las aplicaciones requería programadores expertos en C y centenares de líneas para realizar una tarea sencilla, debido a esto Visual Basic consideró la herramienta más potente y sencilla para el desarrollo de aplicaciones.

Visual Basic utiliza programación manejada por eventos, así en una programación orientada a eventos, el código no sigue una ruta predeterminada, lo que hace es ejecutar diferentes partes del código en respuesta a los eventos. Los eventos se activan por las acciones del usuario, por mensajes del sistema u otras aplicaciones, o también por la aplicación misma. La secuencia de estos eventos determina el camino del código ejecutado, de esta forma, la ruta a través de la codificación del código difiere cada vez que el programa se ejecuta.

Algo que resulta igual de importante para implementar el Software de Estación Terrena es el lenguaje de programación y la base de datos utilizada para el almacenamiento de información generada por el satélite. Visual Basic y ACCES fueron elegidos por la simplicidad que tienen al utilizarlos en un ambiente como Windows, que es el sistema que se utiliza en la computadora que ejecuta el SET.

Visual Basic crea varios archivos cuando se compila un proyecto. Estos se pueden dividir en archivos de diseño y tiempo de ejecución. Los archivos de tiempo de diseño son los ladrillos del su proyecto, por ejemplo, los módulos de Basic (.bas) y los módulos de formulario (.frm) que contiene los valores de las propiedades del mismo. Adicionalmente Visual Basic crea archivos de dependencias para el empaquetado y distribución del proyecto (.dep).

Los bloques de texto definen las propiedades de los controles del formulario que se encuentran anidados en el formulario. Los controles contenidos en otros controles tienen sus propiedades anidadas en el texto del contenedor. Una herramienta sumamente eficaz es la posibilidad que se tienen para crear arreglos de controles que básicamente son un grupo de controles que comparten el mismo tipo y nombre.



Los controles del mismo tipo comparten las mismas subrutinas de eventos pero cada control posee diferentes propiedades y se les identifica a través de un índice. Cada arreglo de controles puede almacenar hasta 254 controles. Para hacer referencia a un control dentro de un arreglo, se debe utilizar el nombre del arreglo y el índice entre paréntesis.

Los arreglos de controles son útiles cuando no se requieren que varios controles compartan el mismo código, o cuando no se conoce el número de controles que se llegará a necesitar. Visual Basic tiene un límite de 254 controles por forma y un arreglo de controles solo cuenta como uno en este límite.

Una ventaja que ofrecen los arreglos de controles, es que pueden hacer referencia a controles dentro de bucles, lo que reduce el código para realizar la misma operación con un grupo de controles.

Visual Basic posee un elemento que ayuda a realizar las comunicaciones de una manera rápida y eficiente, lo cual proporciona mucha flexibilidad al recibir los datos, adicionalmente el manejo de la información resulta ser bastante rápido en la base de datos, en el desarrollo matemático y en la interacción con archivos necesarios para la ejecución del programa.

El control que resuelve la parte de las comunicaciones que se llevan a cabo es el control MSComm. El MSComm utiliza el puerto serie para recibir datos.

Con este control se tienen dos formas diferentes de obtener datos y son las siguientes:

- Las comunicaciones controladas por eventos son un método muy poderoso para el tratamiento de interacciones con el puerto serie. Si se desea una modificación cuando tiene lugar un evento, por ejemplo, cuando llega un carácter o cuando se produce un cambio en las líneas de detección de portadora o petición de envío.

Para estos casos se utiliza el evento OnComm del control MSComm para interceptar y tratar estos eventos de comunicaciones. El evento OnComm también detecta y trata los errores en las comunicaciones.

- Se pueden sondear los eventos y errores si se comprueba el valor de la propiedad CommEvent después de cada función crítica del su programa. Esta alternativa es preferible si la aplicación es pequeña y autónoma.

Cada control MSComm corresponde a un puerto serie. Si se requiere tener acceso a más de un puerto serie en una aplicación, se debe usar más de un control MSComm. La dirección del puerto y la dirección de la interrupción pueden cambiarse desde el Panel de control de Windows.

2.3 Estructura general del software de estación terrena

El SET se ha diseñado para cubrir las necesidades principales de las comunicaciones Tierra-Microsatélite, este software no es una versión final ya que se continúan realizando modificaciones, sin embargo su porcentaje de avance es del orden del 95%.

El primer parámetro que se tiene que indicar es el puerto en que estarán conectados los transmisores y receptores en la computadora que soporte al SET, que por lo general es el com 1 (comunicación serial), figura 2.1 este parámetro, se tiene que indicar antes de cargar el panel de control y se envía al control MScComm utilizado.

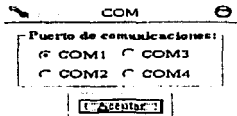


Figura 2.1 Elección del puerto para protocolo de comunicaciones.

La figura 2.2 se presenta el panel de control del SET, se aprecian todos los sitios de despliegue de información cada vez que estén en contacto el SATEX y el SET.

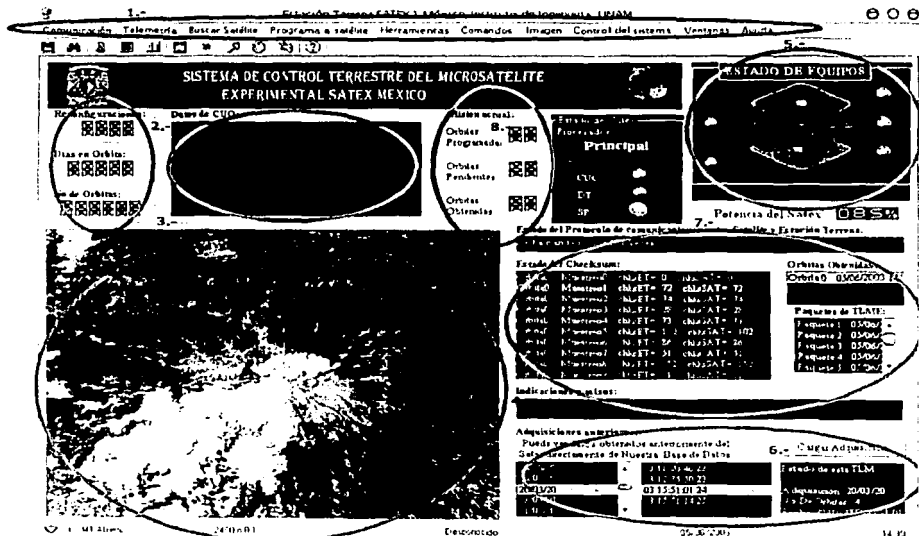


Figura 2.2 Panel de Control del SET.

TRASF COM
FALLA DE CARGEN

A continuación se describe a grandes rasgos el contenido y el propósito de cada una de las regiones de despliegue del SET, siempre con referencia en la figura 2.2.

1. Desde la barra de menús desde donde se pueden ejecutar todas las funciones principales del software, debajo de la barra de menú se tiene una barra adicional de botones de acceso rápido a los controles más utilizados para observar parámetros del SATEX.
2. Se presenta el número de reconfiguraciones efectuadas en la computadora de vuelo, el dato se actualiza cada vez que se reciba nueva telemetría del satélite. Adicionalmente se muestra el número de orbitas que ha efectuado el SATEX así como el conteo de los días que llevará en el espacio.
3. Aquí se observarán resultados de petición de Información exclusivamente para el experimento óptico (Carga Útil Óptica).
4. En esta ventana se desplegará una vista rápida de la imagen adquirida por el satélite. Adicionalmente la imagen se almacenará en la base de datos para consultas posteriores.
5. Cada vez que se capture nueva telemetría normal y se hayan producido fallas en el satélite durante algún muestreo se indicará visualmente la anomalía con esferas parpadeantes. Al presionar con el "ratón" sobre la ventana se obtendrán más detalles sobre la falla en una página adicional.
6. Este lugar se cargan adquisiciones de TLMN previamente capturada para revisarla cuidadosamente en cierto momento para evaluar el funcionamiento del SATEX en la misión. En esta sección se accedan los datos de las misiones almacenadas en la base de datos. El acceso se realiza por fecha y hora.
7. En esta pantalla se observa el protocolo de comunicaciones durante la adquisición de información del microsatélite (telemetría especial, telemetría normal o imagen). Se pueden verificar los checksum que envió el SATEX, y compararlos con los calculados por Tierra para verificar si hubo error en la trama de datos recibida. En el caso de la adquisición de TLME se puede contabilizar el número de paquetes de información recibida; el total de paquetes es de diez y cada uno contiene 4000 bytes, para observar el comportamiento de sensores específicos. Adicionalmente indica la recepción de la imagen byte por byte indicando el tamaño de la imagen y el progreso de la recepción.
8. Muestra el estado de las orbitas adquiridas, pendientes y programadas, para tener una idea clara de la misión actual antes de enviar nuevas tareas al satélite.

Cabe mencionar que el SET permitirá enviar nuevos programa a la computadora de vuelo por lo que aunque cuando el satélite se encuentre en órbita se le podrá sustituir completamente su sistema de operaciones.

En la siguiente figura se presenta la pantalla de Interfaz para subir programa a la computadora de vuelo. El código de la CV se genera en lenguaje "C", el cual se compila, ensambla y liga para generar archivos de diferentes extensiones. De ellos el que tiene extensión .hex (formato hexadecimal) es el que se carga en la CV. Para este propósito se utiliza la opción de envío de nuevos programas a la CV que ofrece el SET, figura 2.3, desde el cual se carga el archivo .hex para transmitirlo al satélite, [Ortiz, 2003].

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

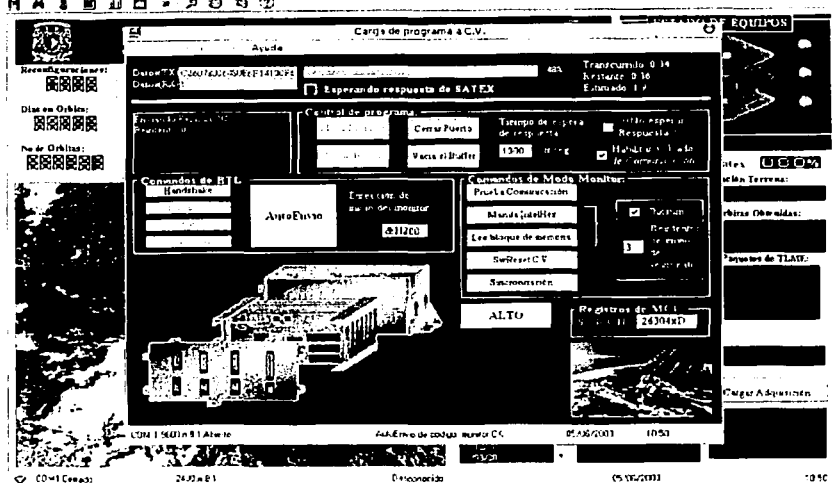


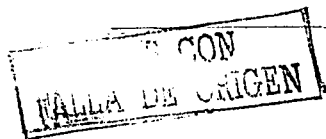
Figura 2.3 Transmisión de programa a la CV.

2.4 Envío de comandos y misiones

El problema de la comunicación Tierra-Satélite se torna significativo en vista de que el microsatélite se encontrará disponible a la estación terrena por tiempos reducidos y variables. Durante los tiempos de visita, el satélite enviará primeramente su telemetría a Tierra y posteriormente recibirá los comandos en línea que definan operaciones por ejecutar durante la visita satelital, además de recibir las misiones o tareas que realizará cuando se encuentre fuera del alcance de la estación terrena.

Solo de esta forma se podrán programar experimentos satelitales para realizarse en los tiempos de visita satelital y en sitios geográficos diferentes a los de la estación terrena.

Una vez orbitado el microsatélite, el acceso a él quedará determinado por las capacidades del software de su computadora de vuelo y por el software de captura de telemetría y control de operaciones que estará instalado en la estación terrena.



El sistema de telemetría y comando; Permite al microsatélite mantener comunicación con su segmento en Tierra (Estación Terrena). Mediante este sistema el microsatélite será capaz de recibir comandos desde la Estación Terrena (SET) y de capturar telemetría.

Debido a que la computadora de vuelo del microsatélite contiene una tarjeta de procesamiento principal y dos redundante, el sistema de telemetría y comando puede continuar operando aún si ocurrieran fallas totales en dos de esas tarjetas.

Respecto a las tramas y protocolos de comunicaciones utilizados para las tareas de telemetría y comando, son totalmente propietarios para satisfacer las necesidades de SATEX.

Antes de enviar un comando o misión, primero requiere tener contacto con el satélite. Para ello el SET (que se encuentra conectado al sistema de comunicación terrestre) inicia el envío automatizado de comandos los que al llegar al satélite generan una respuesta por parte de este, iniciándose así el contacto Satélite-Tierra. En el microsatélite las antenas van conectadas a equipos de radiofrecuencia (dos transmisores y dos receptores) los que a su vez se encuentran conectados a la computadora de vuelo. Esta recibe y decodifica comandos y prepara las condiciones para ejecutarlos. Particularmente cuando la computadora de vuelo recibe el comando de búsqueda de satélite acondiciona al microprocesador para que no reciba ni una interrupción durante el tiempo que dure el contacto con la estación terrena, una vez en contacto el SET realiza el envío de misión o el envío de comandos en línea, hasta que el tiempo de vista se agote.

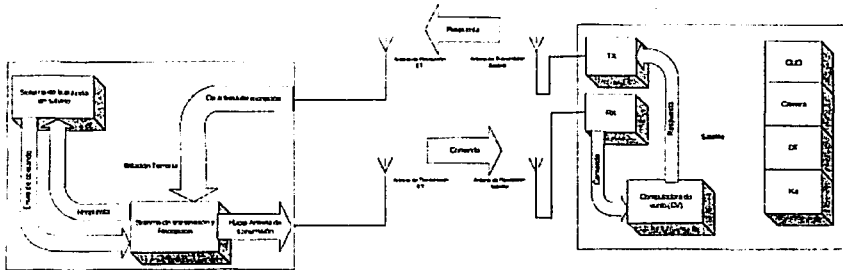


Figura 2.4 Diagrama a bloques para la búsqueda del microsatélite.

Las comunicaciones en SATEX, tanto de red interna como externa, se controlan por medio de interrupciones en los receptores seriales. Por su parte, los equipos de radio del vehículo solo pueden operar a velocidades de 1200, 2400 y probablemente de 4800 bauds.

El canal de comunicaciones de la CV está programado para recibir tramas de comandos y misiones, los comandos se procesan por prioridad, de tal forma que los de mayor prioridad se ejecutan en el instante en que se reciben (comandos en línea).

Los comandos que no se procesan instantáneamente se almacenan en una pila de comandos para ejecutarios posteriormente cuando el satélite no se encuentre en vista con SET (comandos de misión).

Cabe señalar que algunos comandos se transmiten a los demás nodos de la red para especificar modos de operación a las cargas útiles. Los comandos de línea ocasionan una acción inmediata, al momento en que el comando llega al microsatélite. Un ejemplo es el comando de reset a la computadora de vuelo el cual reseteará la computadora principal o redundante según sea el caso en el instante en que lo recibe.

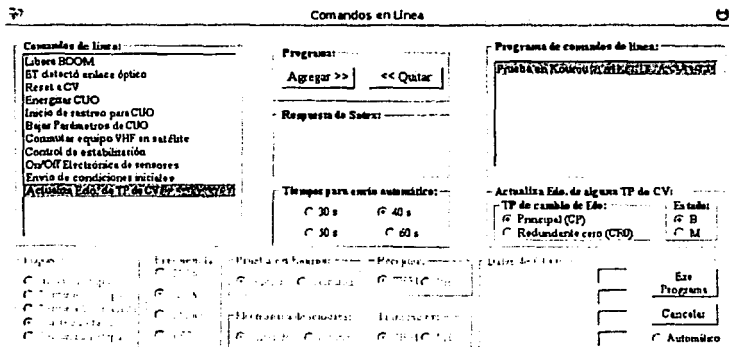


Figura 2.5 Comandos en línea del SATEX.

Los comandos de misión se envían al microsatélite para recolectar información y actividades de éste en las orbitas subsecuentes al contacto.

Una misión es un conjunto de comandos enviados al microsatélite para que este los ejecute, bajo ciertas condiciones de captura de datos. Las misiones pueden comprender desde la captura de datos de los propios signos vitales del microsatélite (telemetrías), hasta la ejecución de experimentos bajo condiciones establecidas por los usuarios en Tierra.

Existen cuatro tipos distintos de comandos de misión para solicitarle al satélite la captura de telemetría, los cuales se presentan en la figura 2.6.

Cuando se desea enviar una misión al SATEX con el SET aparece un asistente que ayuda al usuario a elaborar el comando de misión, posteriormente admite el envío de la misión o incluso si el usuario no desea transmitirla en ese momento le permite almacenarla en la base de datos para su transmisión posterior.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

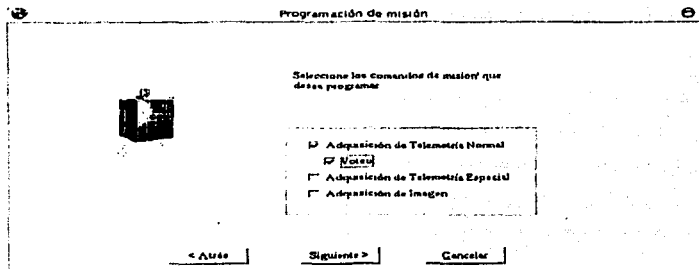


Figura 2.6 Elección de misión para el SATEX.

Una vez que se selecciona la misión que se desea programar, el asistente permite al usuario definir los parámetros necesarios para formar el comando de misión y posteriormente enviárselo al SATEX o almacenarlo en su caso, figuras 2.7.

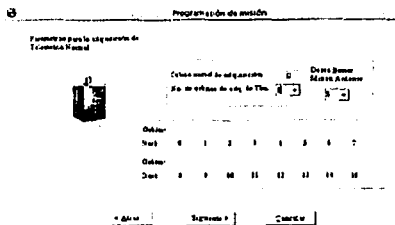


Figura 2.7 a) Programación de Telemetría Normal.

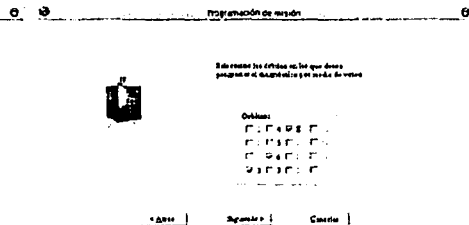


Figura 2.7 b) Programación de Votéo.

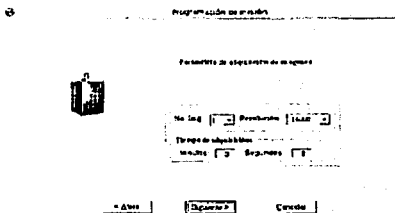


Figura 2.7 c) Programación de imágenes.

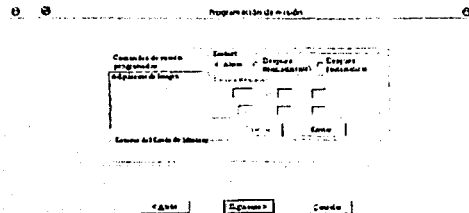
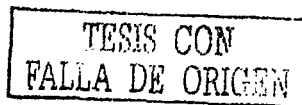


Figura 2.7 d) Envío de misión.



2.5 Recepción de telemetría y datos de estado operativo de equipos del microsatélite

Cuando el satélite adquiere telemetría normal cada 10 minutos de todos sus sensores a bordo del microsatélite, estos sensores indican el comportamiento del microsatélite a partir de un momento especificado como inicio. Estos muestreos se realizan a lo largo de un periodo aproximadamente de 100 minutos el cual corresponde a una órbita de telemetría normal (TLMN). Por ello 16 órbitas de telemetría corresponden a 1600 minutos de vuelo orbital. Este valor corresponde a la mayor autonomía del satélite, es decir, el vehículo puede almacenar telemetría de hasta 16 órbitas sin tener un contacto con su estación terrena.

Un muestreo de telemetría esta compuesto por datos de sensores de voltaje, corriente, campo magnético y orientación respecto al sol.

La trama de telemetría normal esta formada de la siguiente manera:

1 bytes Desportar	1 byte # de orbitas obtenidas	220 bytes Diagnostico de equipos	2 bytes # de orbitas	1 bytes FF	1319 bytes Telemetría de sensores
----------------------	-------------------------------------	--	----------------------------	---------------	---

El primer byte se utiliza para generar la interrupción por evento del puerto serie con el SET, posteriormente otro byte indica el número de orbitas de telemetría (NOT) capturada por el satélite, por lo cual el tamaño de la trama es variable, siendo su longitud máxima el que se indica en la figura anterior. Posteriormente aparecen (NOT*22 datos) que corresponden al número de diagnósticos empaquetados en la trama, de acuerdo al siguiente orden:

20 bytes Diagnóstico	2 bytes	20 bytes Diagnóstico	2 bytes	...	2 bytes	20 bytes Diagnóstico	2 bytes
Muestreo 0	"DD"	Muestreo 1	"DD"		"DD"	Muestreo 9	"DD"

Después aparecen 2 bytes con la información repetida acerca del número de orbitas de telemetría que capturó el SATEX, seguidos por un byte de separación "FF". Finalmente aparecen un máximo de 1319 bytes con las muestras de telemetría de sensores, con el siguiente formato:

130 bytes	1 byte	1 byte	...	130 bytes	1 byte
TS0	Chk0	"D"	...	TS0	Chk9

TS = Telemetría de sensores.

Chk = Checksum

De forma particular la estructura de información de un paquete de muestreo de sensores de telemetría normal es la siguiente:

BYTE	NUM./CVE.	SENSOR	BYTE	NUM./CVE.	SENSOR	BYTE	NUM./CVE.	SENSOR
1	0	MAG X1 PB	45	22	SAL15 SENS PB	89	44	SC DT PB
2	0	MAG X1 PA	46	22	SAL15 SENS PA	90	44	SC DT PA
3	1	SFS X1 PB	47	23	SAL4 SENS PB	91	45	SENSOR 0 PB
4	1	SFS X1 PA	48	23	SAL4 SENS PA	92	45	SENSOR 0 PA
5	2	CCD PB	49	24	MAG Y2 PB	93	46	SAL19 SENS PB
6	2	CCD PA	50	24	MAG Y2 PA	94	46	SAL19 SENS PA
7	3	SAL20 SENS PB	51	25	SFS X3 PB	95	47	SAL10 SENS PB

TRISIS CON FALLA DE ORIGEN

BYTE	NUM./CVE. SENSOR	BYTE	NUM./CVE. SENSOR	BYTE	NUM./CVE. SENSOR			
8	3	SAL20 SENS PA	52	25	SFS X3 PA	96	47	SAL10 SENS PA
9	4	SAL11 SENS PB	53	26	SC RXVHF2 PB	97	48	SC PANEL 1
10	4	SAL11 SENS PA	54	26	SC RXVHF2 PA	98	49	SC PANEL 2
11	5	SAL1 SENS PB	55	27	ST CUO PB	99	50	SC PANEL 3
12	5	SAL1 SENS PA	56	27	ST CUO PA	100	51	SC PANEL 4
13	6	MAG Y1 PB	57	28	SAL16 SENS PB	101	52	SC BAT
14	6	MAG Y1 PA	58	28	SAL16 SENS PA	102	53	ST BAT 1
15	7	SFS Y1 PB	59	29	SAL5 SENS PB	103	54	ST BAT 2
16	7	SFS Y1 PA	60	29	SAL5 SENS PA	104	55	ST DCDC
17	8	SC KA PB	61	30	MAG Z2 PB	105	56	SV BAT 1
18	8	SC KA PA	62	30	MAG Z2 PA	106	57	SV BAT 2
19	9	ST TCV PB	63	31	SFS Y3 PB	107	58	SV BAT 3
20	9	ST TCV PA	64	31	SFS Y3 PA	108	59	SV BAT 4
21	10	SAL13 SENS PB	65	32	SC TXVHF2 PB	109	60	SV BAT 5
22	10	SAL13 SENS PA	66	32	SC TXVHF2 PA	110	61	% DE CARGA
23	11	SAL2 SENS PB	67	33	ST TXVHF1 PB	111	62	LIBRE
24	11	SAL2 SENS PA	68	33	ST TXVHF1 PA	112	63	LIBRE
25	12	MAG Z1 PB	69	34	SAL17 SENS PB	113	64	LIBRE
26	12	MAG Z1 PA	70	34	SAL17 SENS PA	114		DISPONIBLE
27	13	SFS X2 PB	71	35	SAL8 SENS PB	115		DISPONIBLE
28	13	SFS X2 PA	72	35	SAL8 SENS PA	116		DISPONIBLE
29	14	SC RXVHF1 PB	73	36	SC SENS PB	117		DISPONIBLE
30	14	SC RXVHF1 PA	74	36	SC SENS PA	118		DISPONIBLE
31	15	ST DT PB	75	37	SFS X4 PB	119		DISPONIBLE
32	15	ST DT PA	76	37	SFS X4 PA	120		DISPONIBLE
33	16	SAL14 SENS PB	77	38	SC CUO PB	121		DISPONIBLE
34	16	SAL14 SENS PA	78	38	SC CUO PA	122		DISPONIBLE
35	17	SAL3 SENS PB	79	39	ST RXVHF1 PB	123		DISPONIBLE
36	17	SAL3 SENS PA	80	39	ST RXVHF1 PA	124		DISPONIBLE
37	18	MAG X2 PB	81	40	SAL18 SENS PB	125		DISPONIBLE
38	18	MAG X2 PA	82	40	SAL18 SENS PA	126		DISPONIBLE
39	19	SFS Y2 PB	83	41	SAL9 SENS PB	127		DISPONIBLE
40	19	SFS Y2 PA	84	41	SAL9 SENS PA	128		DISPONIBLE
41	20	SC TXCHF1 PB	85	42	SENSOR E PB	129		Num. Fallas Totales en Red Interna
42	20	SC TXVHF1 PA	86	42	SENSOR E PA	130		Pulsos Boom
43	21	ST CCD PB	87	43	SFS Y4 PB			
44	21	ST CCD PA	88	43	SFS Y4 PA			

Como se observa, los primeros 48 datos de sensores (bytes 1 a 96) corresponden a los sensores vinculados en la computadora de vuelo del microsatélite. Por otro lado, los bytes 97 a 110 corresponden a 14 muestras de un solo byte que se encuentran vinculados al sistema de potencia del vehículo espacial.

En este paquete de telemetría también se incluyen algunos bytes que están disponibles para posibles datos que en un futuro se puedan integrar a esta información.

Ahora, en los bytes de diagnóstico de equipos se tiene información que captura la computadora de vuelo, cada muestreo realizado por la CV genera 20 bytes con la siguiente información:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BYTE	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
0	Número de órbita				Número de muestreo			
1	1 - CP 0 - CR				1	1	1	0
2	Equipos de comunicaciones							
3	1	Estado puerto serie con ET			Puerto serie de red interna redundante.		Puerto serie red interna	
4	Síndrome de CV							
5	Diagnostico de RAM de CV							
6	Síndrome de CUO							
7	Diagnostico de RAM de CUO							
8	Síndrome de DT							
9	Diagnostico de RAM de DT							
10	Síndrome de CCD							
11	Diagnostico de RAM de CCD							
12	Síndrome de SP							
13	Diagnostico de RAM de SP							
14	Número de correcciones del EDAC							
15	Número de interrupciones del PECC							
16	Resultado de voto de CUO				Resultado de voto de CV			
17	Resultado de voto de CCD				Resultado de voto de DT			
18					Resultado de voto de SP			
19	Se informa si se realizó Diagnostico simple o el experimento de voto.							

Como se aprecia cada byte contiene información importante del diagnóstico, enseguida se ofrecen detalles de esta información.

BYTE 0: en la parte alta del byte se indica el número de órbita y en la parte baja el número de muestreo de este diagnóstico.

BYTE 1: en sus 4 bits menos significativos contiene el valor en hexadecimal "E" o en decimal el valor 14 que identifica al estatus como tal, con el bit 7 indica el procesador que se está utilizando en la computadora de vuelo, con el valor de "1" nos determina que es el procesador principal y un "0" indica que es el procesador redundante.

BYTE 2: indica que equipos de comunicación fueron utilizados por el satélite, el valor hexadecimal de "33" indica que están activos el transmisor 1 y receptor 1, el valor hexadecimal de "C3" indica que están activos el transmisor 2 y receptor 1, el valor hexadecimal de "3C" indica que están activos el transmisor 1 y receptor 2 y por último el valor hexadecimal de "CC" indica que están activos el transmisor 2 y el receptor 2.

BYTE 3: este byte indica el estado de los puertos y canales de comunicación tanto en la red interna como en las comunicaciones con Tierra.

El valor hexadecimal de "80" indica que el puerto serie de estación terrena y la red interna se encuentra en buen estado, el valor hexadecimal de "F0" indica que el puerto serie de estación terrena se encuentra mal pero la red interna bien, el valor hexadecimal de "87" indica que el puerto serie de estación terrena se encuentra bien pero la red interna fallo y por último el valor hexadecimal de "F7" indica que el puerto serie de estación terrena se encuentra mal y que la red interna también fallo.

BYTES del 4 al 14: determinan el estado tanto de la memoria RAM como de los procesadores de cada computadora a bordo del microsatélite. El byte reservado para las condiciones de la memoria RAM indica el número de errores que se generaron en el transcurso de 10 minutos.

BYTE 15: determina el número de interrupciones del PECC, una interrupción equivale a 255 errores en RAM detectados por el EDAC.

BYTES 16, 17 y 18: determinan el resultado del voto obtenido en cada computadora del satélite.

BYTE 19: La información en este byte se visualiza en los controles de la estación terrena indicando si se realizó el experimento de voto o solo diagnóstico simple. Particularmente el byte ofrece los siguientes datos:

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Significado del Diagnóstico	Tipo de diagnóstico realizado
1	0	0	0	0	0	Computadora Principal en uso	-
0	1	0	0	0	0	No se realiza voto por falla en red interna.	Simple
0	0	1	0	0	0	Se puede hacer voto, 4 computadoras activas.	Voto
0	0	0	1	0	0	No pudo encenderse el DT	Simple
0	0	0	0	1	0	No se programa voto en ninguna orbita	Simple
0	0	0	0	0	1	No llego respuesta a CV durante el envío de cmd.	Simple
0	0	1	1	0	0	No es orbita de voto	Simple
0	1	0	1	0	0	Solo se realiza con SP	Simple

Después del proceso de recepción sigue el proceso de búsqueda de errores y finalmente el de clasificación de la información en donde únicamente se hace la distinción entre telemetría normal y estado de los equipos. De esta manera se generan 2 grandes arreglos y cada uno se almacenará en su respectiva base de datos, por medio del diagrama de bloques de la figura 2.12 se puede observar como se clasifica la información obtenida:

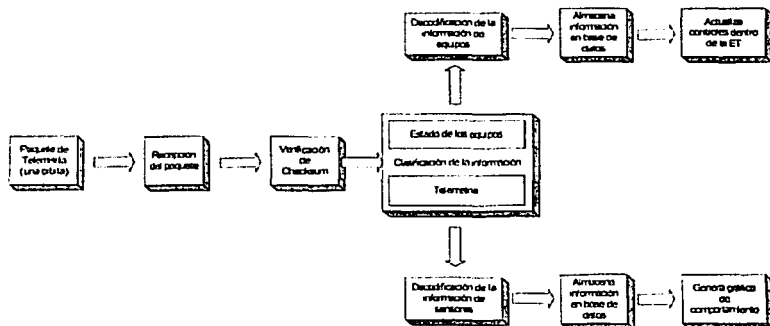


Figura 2.12 Manejo de la Información obtenida en la estación terrena (Telemetría Normal)

La información que llega a Tierra tiene un tratamiento que corresponde a almacenar la información y el despliegue de la misma por medio de instrumentos virtuales, los principales instrumentos virtuales se presentaron en la sección anterior. Para obtener mayores detalles del proceso de envío de TLMN a SET para evitar la pérdida de datos ver [Torres, 2002].

2.6 Base de datos para el almacenamiento y consulta posterior de la telemetría del microsátélite

Una base de datos es una recopilación de información almacenada en forma organizada. Como sabemos las bases de datos computarizadas ofrecen las siguientes ventajas:

- Facilitan el almacenamiento de grandes cantidades de información.
- La recuperación de la información es casi ágil y automatizada.
- Facilitan la reorganización de la información.

Una base de datos está formada por una o más tablas, donde cada tabla es una colección de datos sobre un tema en común, cada tabla está compuesta por registros y por campos. Los datos de cada tabla deben estar relacionados con los de otras tablas por medio de un campo en común al cual se le conoce como clave principal.

Visual Basic se puede comunicar con dos tipos de bases de datos:

- Microsoft Access.
- Bases de datos ODBC (Open Database Connectivity) que incluyen manejadores de bases de datos con arquitectura cliente/servidor como son SQL Server y Oracle. Para comunicarse con estas bases, Visual Basic necesita los drivers ODBC adecuados.

Para consultar la información en la base de datos se puede utilizar SQL (Structured Query Language), el cual es un lenguaje que facilita la comunicación con la base de datos y Visual Basic integra una implementación de SQL.

La arquitectura ODBC consta de cuatro componentes, como se describe en la lista siguiente:

- **Interfaz de programación de aplicaciones (API):** llama a las funciones de ODBC para conectar con un origen de datos, enviar, recibir y desconectar.
- **Administrador de controladores:** proporciona información a una aplicación, carga controladores dinámicamente cuando sean necesarios y proporciona comprobación de argumentos y transiciones de estados.
- **Controlador:** procesa llamadas de funciones de ODBC y administra todos los intercambios entre una aplicación y una base de datos relacional específica. En caso de que sea necesario, el controlador puede traducir la sintaxis estándar SQL a SQL nativo del origen de datos de destino.
- **Origen de datos:** consta de los datos y su motor de base de datos asociado.

La API de ODBC para conectar con un origen de datos, enviar instrucciones SQL, buscar datos y desconectar. Un administrador de controladores está entre la aplicación y los controladores ODBC, decide qué controlador se debe cargar y administra las comunicaciones a medida que se llama a funciones del controlador.

Algunas de las características más importantes que presenta Access son las siguientes:

- **Compatibilidad con Unicode:** usa los caracteres de cualquier lenguaje compatible con Unicode en sus datos. Usando la compresión Unicode se pueden compensar los mayores requisitos de espacio de almacenamiento que requiere Unicode y sacar partido de la compatibilidad dual de fuentes, especificando una fuente de sustitución que pueda utilizar (además de la fuente predeterminada) para mostrar de forma correcta todos los caracteres de sus datos.
- **Usar Objetos de datos ActiveX de Microsoft (ADO):** se pueden utilizar dichos objetos para tener acceso y manipular datos en un servidor de base de datos mediante cualquier proveedor OLE DB.

El SET utiliza Microsoft Access para almacenar 7 tablas de datos las cuales se presentan a continuación:

1. Alarma de los sensores: la función de esta tabla es de almacenar los umbrales máximos y mínimos en que podrán operar los sensores, así al recuperarse los datos en los controles del SET resulta posible indicar de una manera más rápida el estado operativo de cada sensor.

Alarm_Sensores_Tabla				
id deSensor	Sensor tipo	Lim_Sup	Lim_inf	
1	MAG_X1	1024	0	
2	SFS_X1	1024	0	
3	SC CCD	1024	0	
4	SAL20 SENS	1024	0	
5	SAL11 SENS	1024	0	
6	MAG_Y1	1024	0	
7	SFS_Y1	1024	0	

2. Comandos de Misión: en esta tabla se almacena los comandos de misión programados para ser enviados posteriormente en el momento adecuado, en esta tabla se llenan 27 bytes que corresponden a la longitud de los comandos de misión.

Cmd_Mision_Tabla																															
id	no_mision	no_comanda	byte0	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	byte6	byte7	byte8	byte9	byte10	byte11	byte12	byte13	byte14	byte15	byte16	byte17	byte18	byte19	byte20	byte21	byte22	byte23	byte24	byte25	byte26		
1	354	1	7	120	7	6	0	78	66	68	65	65	66	66	66	65	65	65	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	
	354	2	7	120	7	3	0	78	66	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
	354	3	7	120	7	4	0	83	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
	396	4	8	120	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	397	6	7	120	7	1	0	83	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
	398	6	7	120	7	3	0	78	65	65	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
	399	7	7	120	7	3	0	70	65	66	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65

3. Comandos en Línea: en esta tabla se encuentra formados los comandos en línea, byte por byte y se recuperan en el momento en que se desee ejecutar uno de ellos cuando se enlacen el SATEX y el SET.

comando_Tabla																														
no_comanda	descripcion	byte0	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	byte6	byte7	byte8	byte9	byte10	byte11	byte12	byte13	byte14	byte15	byte16	byte17	byte18	byte19	byte20	byte21	byte22	byte23	byte24	byte25	byte26		
1	No hay descripción	120	1	170	65	65	170	65	65	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	
2	Línea BOCAL	120	3	66	65	65	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
4	ET detector síncrono	120	4	65	65	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
9	Reset a Cx	120	8	65	65	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
20	Comando de Prueba	120	20	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
27	Energía a CLUD	120	27	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
28	Inicio de rutina para CLUD	120	28	66	65	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
29	Fin de rutina para CLUD	120	29	66	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

4. Imágenes Adquiridas: el contenido de esta tabla es la cantidad de imágenes adquiridas, así como el formato con que son guardadas y la fecha de adquisición.

ImagenAdq : Tabla			
Fecha de Adq	Imagen	Tamaño	Tipo
23/07/2002 16:46:32		1560	bmp

5. Estado de Equipos: contiene información muy importante ya que de esta tabla depende el funcionamiento y la correcta actualización del SET.

Status : Tabla											
Id_misn	Orbita	Muestreo	Status 0	Status 1	Status 2	Status 3	Status 4	Status 5	Status 6	Status 7	Status 8
3922	0	2	1	142	195	7	0	0	0	0	0
3923	0	3	2	142	195	7	0	0	0	0	0
3924	0	4	3	142	195	7	0	0	0	0	0
3925	0	5	4	142	195	7	0	0	0	0	0
3926	0	6	5	142	195	7	0	0	0	0	0
3927	0	7	6	142	195	7	0	0	0	0	0
3928	0	8	7	142	195	7	0	0	0	0	0
3929	0	9	8	142	195	7	0	0	0	0	0
3930	0	10	9	142	195	7	0	0	0	0	0

6. Telemetría Normal: aquí se encuentran los valores de las muestras obtenidas de los sensores del SATEX.

TLMN : Tabla											
Id_misn	Orbita	Muestreo	sensor 0	sensor 1	sensor 2	sensor 3	sensor 4	sensor 5	sensor 6	sensor 7	
4457	0	2	618	578	640	514	495	465	459	443	426
4458	0	3	538	508	492	464	443	427	422	412	399
4459	0	4	591	555	522	496	473	453	446	431	418
4460	0	5	610	739	676	600	595	549	527	498	478
4461	0	6	596	568	525	500	478	455	440	434	419
4462	0	7	630	755	691	640	595	555	536	508	483
4463	0	8	615	744	663	624	599	552	534	504	470
4464	0	9	567	534	504	462	460	440	435	423	403
4465	0	10	765	702	640	603	564	531	516	491	467

7. Telemetría Especial: contiene información de la telemetría capturada de sensores específicos así como la órbita, el muestreo, el número de sensores, la frecuencia con la que se obtuvieron las muestras de los sensores, los valores de las muestras de los sensores, número de misión y la fecha de adquisición.

TLME : Tabla						
Id	Orbita	Muestreo	No sensores	Frecuencia	Sensores	DatosMision
29	0	7	9	20	5, #8(-1,349; 0)10z0z0y	1 24/06/2003 10:47:20
(Autonuméro)	0	2	20	0	&{(-1,346 0)0z0z0lk	2 21/07/2003 16:47:09

Registro: 14 | de 2

2.7 Tramas y protocolos de comunicaciones utilizados

Los comandos de comunicaciones utilizados se dividen básicamente en dos grandes grupos: los comandos en línea y los comandos de misión, estos comandos al ser recibidos por la computadora de vuelo del SATEX los decodifica y empieza a ejecutarlos. A continuación se describirán las tramas de los comandos.

Estructura de los Comandos de Línea

La mayoría de los comandos tienen una similitud en su trama en el primer casillero se ubica un byte de despertar (decimal = 128 => binario = 10000000), en el segundo casillero se encuentra el número del comando, si existe uno o más parámetros extra se indican en los casilleros subsecuentes de lo contrario se rellenan con símbolos "A" y al final del comando existe un casillero que transporta el checksum correspondiente del comando, de esta forma se puede comprobar si llegó de forma adecuada el comando. Debe de quedar claro que en cada casillero se encuentra un byte de información.

En seguida se describen los comandos:

1. **Comando 3**, conmutar equipos VHF en el satélite. Debido a que el microsatélite cuenta con dos equipos de transmisión y dos de recepción, se logrará conmutar a estos equipos con este comando. La trama del comando es la siguiente:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3]	cmd [4] ... cmd [26]	cmd[27]
Dec(128)	Dec(3)	0F ó F0	0F ó F0	"A" ... "A"	Checksum

Donde en el segundo casillero se especifica el transmisor que utilizará el SATEX, y el casillero tres determina que receptor utilizará. Si se requiere utilizar los equipos Tx1 y Rx1 el valor predeterminado es una 0F (para los casilleros 2 y 3) y si se desea utilizar los equipos Tx2 y Rx2 se debe colocar F0 en sus respectivos casilleros.

2. **Comando 4**, SET detecta enlace Óptico: este comando indica que se encuentran en contacto visual la carga útil óptica con la estación terrena óptica, por lo cual se puede llevar a cabo el experimento de comunicaciones ópticas; el comando se forma de la siguiente manera:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec(128)	Dec(4)	"A" ... "A"	Checksum

3. **Comando 9**, reset a la computadora de vuelo: este comando inicializa al procesador principal o redundante de la computadora de vuelo (el que se encuentre operando en ese momento); la trama del comando es la siguiente:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec(128)	Dec(9)	"A" ... "A"	Checksum

4. **Comando 11**, control de estabilización: El satélite utiliza 2 etapas fundamentales de estabilización, la primera usa un algoritmo que sensa el campo magnético y aplica corriente a las bobinas de tal forma que se obtenga un efecto favorable para el control del movimiento rotativo del microsátélite. Esta etapa opera sólo durante las primeras órbitas. Por medio de este comando se le indican al SATEX las etapas del fin de la primera y el inicio de la segunda, el comando se forma de la siguiente forma:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3]	cmd [4] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec(128)	Dec(11)	Dec(1...5)	Dec(1...4)	"A" ... "A"	Chksum

Existe una interrupción que utiliza el satélite para controlar su proceso de estabilización, se tiene que activar cada 240[ms], sin embargo es posible cambiar la frecuencia mediante este comando, se puede cambiar la interrupción para que se genere cada 0.42[s], 0.84[s] o cada 1.68[s].

El segundo casillero indica una de las cinco etapas de estabilización en tanto que en el tercer casillero se puede indicar una de las cuatro frecuencias que se pueden utilizar. La siguiente tabla corresponde las diferentes opciones para el comando:

Etapas		Frecuencias	
1	Inicia 1ª etapa	1	210 [ms]
2	Termina 1ª etapa	2	420 [ms]
3	Termina 1ª etapa comienza 2a	3	840 [ms]
4	Comienza 2ª etapa	4	1680 [ms]
5	Termina 2ª etapa		

5. **Comando 15**, encendido apagado de electrónica de sensores: este comando requiere la confirmación de la orden de encendido o apagado de la electrónica de sensores. El comando es el siguiente:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec(128)	Dec(15)	FF ó 0	"A" ... "A"	Chksum

En el segundo casillero se indica si queremos activar (On = FF) o desactivar (Off = 00) la electrónica de sensores a bordo del satélite.

6. **Comando 16**, prueba en Kouru: este comando solicita al satélite la telemetría de una órbita pero instantáneamente, es decir en lugar de esperar los 100 minutos de una órbita captura la telemetría de 10 muestras continuas (sin tiempos de espera entre ellos) y posteriormente la envía al SET.

El comando es el siguiente:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec(128)	Dec(16)	I ó F	"A" ... "A"	Chksum

En el segundo casillero se indica si se iniciará (I) o si se terminará (F) el comando.

7. **Comando 19**, envío de condiciones iniciales: este es un comando exclusivo de la carga útil óptica, en el cual se envían varios parámetros para calibrar el experimento de comunicaciones ópticas. El comando se conforma de la siguiente forma:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3]	cmd [4]	cmd [5]	cmd [6]	cmd [7]	cmd [8]	cmd [9]	cmd [10]	cmd [11] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec (128)	Dec (19)	"S"	Reloj 1	Reloj 2	Reloj 3	Reloj 4	Temp 1 ch1	Temp1 ch2	Temp 2 ch1	Temp 2 ch2	"A" ... "A"	Chksum

Existen varios parámetros que se envían desde Tierra hasta el experimento. Los valores reloj 1, reloj 2, reloj 3 y reloj 4; el sistema los interpreta como un único valor que se puede componer hasta de 4 bytes, después viene el valor compuesto por los bytes temp1ch1 y temp1ch2 que así como temp2ch1 y temp2ch2 son valores de 2 temporizadores pero que necesitan 2 bytes para por representar el valor máximo.

8. **Comando 27**, inicio de rastreo de CUO: constituye la orden para que la carga útil óptica empiece a rastrear su receptor en la estación terrena por medio de su sistema electro-óptico.

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec(128)	Dec(27)	"A" ... "A"	Chksum

9. **Comando 28**, reporte de parámetros de CUO: por medio de este comando se envían al SET los parámetros obtenidos en el experimento de comunicaciones ópticas o carga útil óptica; la trama que le corresponde es la siguiente.

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec(128)	Dec(28)	"A" ... "A"	Chksum

Comandos de misión.

La trama de estos comandos al igual que los comandos en línea tienen una similitud, en el primer casillero transportan un byte de despertar, en el segundo casillero se encuentra el número del comando y si existe uno o más parámetros extra se indican en los casilleros subsecuentes de lo contrario se rellenan con símbolos "A". Al final del comando existe un casillero que contiene el checksum correspondiente del comando, de esta forma se puede comprobar si llegó de forma adecuada el comando.

1. **Comando 6**, adquisición de imagen: la trama del comando es la siguiente:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3]	cmd [4]	cmd [5]	cmd [6]	cmd [7] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec (128)	Dec (7)	Orbita	Muestreo	Minutos	Segundos	Resolucion de la Imagen	"A" ... "A"	Chksum

Dentro del microsatélite la computadora de vuelo solicita a la cámara que adquiera la imagen en cierto momento y que después la transmita a través de la red interna. Después de ello la computadora de vuelo transmite la imagen hacia Tierra.

En el segundo casillero se indica en que órbita se va a capturar la imagen, después se indica el número de muestreo (casillero 3), en que se capturará la imagen, en los siguientes dos casilleros se indica en que minuto y segundo exactamente del muestreo se capturará la imagen y finalmente en el siguiente casillero se indica cual será la resolución de la imagen.

2. Comando 7, programación de Telemetría Normal TLNM: la trama del comando es la siguiente:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3]	cmd [4]	cmd [5] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec (128)	Dec (7)	Número de Órbitas de Adquisición: Dec(0-15)	Órbita inicial de adquisición	"S" ó "N"	"A" ... "A"	Chksum

En el segundo casillero se indica el número de órbitas de adquisición de telemetría normal, con un dato expresado en forma decimal.

El tercer casillero indica el valor de la órbita en el cual se empezará a obtener telemetría y por último el casillero 4 es una bandera, como se puede intuir, existirán avistamientos satélite-Tierra en los cuales no será posible bajar toda la telemetría del satélite (debido a que los tiempos de vista son variables). En estos casos la misión no concluye en una sola visita y por lo tanto la bandera permite que se respete la vigencia de la misión anterior con la de una nueva misión que se envíe al satélite. De igual forma la bandera permite anular la misión anterior (incompleta) del satélite, ante lo cual prevalece únicamente la nueva misión que se envíe. Cabe señalar que al anular una misión previa ocasiona que el satélite borre su telemetría asociada. Así se pueden evitar algunas confusiones al momento de enviar misiones y se elimina así se desea la posibilidad de perder información que pueda ser importante en cierto momento.

3. Comando 8, experimento de voto: la trama del comando es la siguiente:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3] ... cmd [18]	cmd [19] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec (128)	Dec (8)	"S" ó "N" S. Hay voto N: No hay voto	Indica por órbita si hay voto "S" o no "N"	"A" ... "A"	Chksum

En el segundo casillero se informa a la computadora de vuelo si se va a efectuar el experimento de voto, "S" determina que el voto se llevará a cabo y "N" nos indica que no se realizará. En los casilleros 16 (3-18) siguientes se indica en que órbitas se va a realizar el experimento. Se asocia el casillero 3 a la órbita 0, el casillero 4 a la órbita 1 y así sucesivamente. En los casilleros que no se realiza el experimento asume que se realizará diagnóstico simple.

4. Comando 12, adquisición de telemetría especial TLME: la trama del comando es la siguiente:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3]	cmd [4]	cmd [5]	cmd [6] ... cmd [25]	cmd [27]
Dec (128)	Dec (12)	Órbita	Muestreo	Frecuencia	Sensores por Adquirir	Indica sensores a muestrear	Chksum

En el segundo casillero se indica en que órbita se va a capturar la TLME, después se indica el número de muestreo en que se iniciará la captura de los datos así como y la frecuencia de muestreo para los sensores (casillero 3 y 4).

En el quinto casillero se indica el número de sensores a muestrear, en tanto que en los siguientes casilleros se indica exactamente cuales de los 62 sensores se van a muestrear, el máximo número de sensores a muestrear es de 20 y al final se agrega el cheksum.

La siguiente tabla muestra a manera de resumen el total de comandos que se pueden utilizar para establecer la comunicación con el SATEN.

Numero de comando	Nombre del comando	Tipo de comando
3	Conmutar equipos VHF	Línea
4	Detectar enlace óptico	Línea
9	Reset A la CV	Línea
11	Control de estabilización	Línea
15	On / Off Electrónica de sensores	Línea
16	Prueba en Kouru	Línea
19	Condiciones iniciales	Línea
27	Inicio de rastreo a la CUO	Línea
28	Envío de parámetros de CUO a Tierra	Línea
6	Programación de imagen	Misión
7	Programación de TLMN	Misión
8	Programación de voto	Misión
12	Programación de TLME	Misión

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3

Actualización del software de estación terrena

3.1 Introducción

El proyecto SATEX se encuentra actualmente en la última etapa de desarrollo. La computadora de vuelo se encuentra ensamblada y funcionando con dos procesadores redundantes y uno principal con, con ella se ha depurado y validado el software de estación terrena.

Con la terminación del software de estación terrena se tiene prácticamente casi todo el software necesario para el monitoreo y control de misión del microsatélite, quedando pendiente el software llamado "sistema experto" del cual se dará una introducción en el capítulo 5 de la presente tesis, sin embargo, el SET no depende del sistema experto en ningún aspecto.

El software indispensable para la depuración del SET es SOFDEVO, el cual simula todo el tráfico de comunicaciones vía red asociado con las cargas útiles del microsatélite, gracias a éste se depuraron todos los protocolos de comunicaciones del SATEX así como los comandos de línea, los comandos de misión y la recepción de telemetrías.

3.2 Actualización del modulo de solicitud y captura de telemetría especial (TLME)

Un comando de misión que tiene gran importancia en el sistema satelital es el de telemetría especial (TLME) que a diferencia de la telemetría normal no reporta el estado de los equipos de SATEX, solo contiene las muestras obtenidas de los sensores programados desde el SET, los cuales pueden ser hasta 20 (en la telemetría normal se obtienen muestras de 62 sensores, 10 veces por orbita).

Durante la TLME la computadora de vuelo almacenará 20,000 muestras las cuales serán enviadas posteriormente a estación terrena. Debido a que es un comando de misión se le tienen que indicar ciertos parámetros para que la computadora de vuelo ejecute el comando programado.

Los parámetros que se indican, figura 3.1 son:

- > La orbita y el muestreo en que se iniciará la captura de datos.
- > La frecuencia con que se realizará el muestreo.
- > El número de sensores por muestrear.

En el momento que se envía el comando desde el SET la CV activa banderas y utiliza un temporizador para generar la frecuencia de muestreo indicada desde Tierra.

A continuación se indican las frecuencias a las cuales se podrán obtener las muestras de los sensores:

1. 16 [kHz]
2. 10 [kHz]
3. 8 [kHz]
4. 6.4 [kHz]
5. 4 [kHz]
6. 1 [kHz]
7. 500 [Hz]
8. 250 [Hz]
9. 100 [Hz]
10. 40 [Hz]

Como se observa la frecuencia de muestreo puede variar desde los 16 [kHz] hasta los 40 [Hz]. Para la captura de esta información se tiene reservado un arreglo de 20,000 bytes que se llena completamente con las muestras obtenidas sin importar qué sensores se hayan especificado.

Cuando se llena el arreglo asignado para la telemetría especial queda lista la información para enviarla en el siguiente avistamiento de la estación terrena.

Programación de misión

TLME

Sensores para TLME

<input checked="" type="checkbox"/> MAGX1	<input checked="" type="checkbox"/> SC SENS	<input checked="" type="checkbox"/> ST1.PAN.SOL.1	<input checked="" type="checkbox"/> ST13.BAT.CEL.2
<input type="checkbox"/> MAGX2	<input checked="" type="checkbox"/> SC CCD	<input checked="" type="checkbox"/> ST2.PAN.SOL.2	<input checked="" type="checkbox"/> ST14.BAT.CEL.24
<input checked="" type="checkbox"/> MAGY1	<input checked="" type="checkbox"/> SC KA	<input checked="" type="checkbox"/> ST3.PAN.SOL.3	<input checked="" type="checkbox"/> ST15.BAT.CEL.25
<input type="checkbox"/> MAGY2	<input checked="" type="checkbox"/> SC CUO	<input checked="" type="checkbox"/> ST4.PAN.SOL.4	<input checked="" type="checkbox"/> ST16.BAT.CEL.26
<input type="checkbox"/> SFY.X1	<input checked="" type="checkbox"/> SC DT	<input checked="" type="checkbox"/> ST5.PAN.SOL.1	<input checked="" type="checkbox"/> ST17.BAT.CEL.48
<input type="checkbox"/> SFY.Y1	<input type="checkbox"/> ST CUO	<input checked="" type="checkbox"/> ST8.PAN.SOL.2	<input checked="" type="checkbox"/> ST19.ELEC.SENS
<input type="checkbox"/> SFY.X2	<input type="checkbox"/> ST DT	<input checked="" type="checkbox"/> ST9.PAN.SOL.3	<input checked="" type="checkbox"/> ST20.KA
<input type="checkbox"/> SFY.Y2	<input checked="" type="checkbox"/> ST TCV	<input checked="" type="checkbox"/> ST10.PAN.SOL.4	<input checked="" type="checkbox"/> ST18.FUENT.EXT.
<input type="checkbox"/> SFY.X4	<input checked="" type="checkbox"/> ST RXVHF1	<input checked="" type="checkbox"/> ST11.BAT.CEL.1	<input type="checkbox"/> %CARGA
<input type="checkbox"/> SFY.Y4	<input checked="" type="checkbox"/> ST RXVHF2	<input type="checkbox"/> ST12.BAT.CEL.2	<input type="checkbox"/> %CARGA

LUZCAMARA1 LUZCAMARA2

Grupos Inicial: Muestras Inicial:

Frecuencia

<input type="radio"/> 16 [kHz]	<input type="radio"/> 10 [kHz]	<input checked="" type="radio"/> 8 [kHz]	<input type="radio"/> 6.4 [kHz]	<input type="radio"/> 4 [kHz]
<input type="radio"/> 1 [kHz]	<input type="radio"/> 500 [Hz]	<input type="radio"/> 250 [Hz]	<input type="radio"/> 100 [Hz]	<input type="radio"/> 40 [Hz]

Figura 3.1 Módulo de Telemetría Especial.

El control destinado para la programación de TLME dentro del SET se muestra en la figura 3.1, sólo basta con seleccionar sensores y automáticamente se formará el comando indicando cuales son los sensores de los que se desea obtener la información. Existen avisos especiales en caso de que se exceda el máximo número de sensores (20), de igual forma para evitar errores en la formación del comando, en este control solo se puede seleccionar una sola frecuencia. A su vez, las secciones de captura de argumentos del contemplan precauciones para indicar con sonidos avisos visuales cuando si se excede el rango de cada objeto, por ejemplo al existir sólo 10 muestreos, sólo se pueden elegir números entre el 0 y el 9, de igual forma para las orbitas sólo pueden variar en el rango de 0 a 15.

Con estas precauciones se evitan errores al formar en la trama del comando de misión. Todos los casilleros son importantes para la ejecución satisfactoria del comando.

En la figura 3.2 se observa un instante del avance que tiene la captura de paquetes de telemetría especial, se indica el porcentaje de paquetes recibidos (un paquete 10%, 2 paquetes 20% y así sucesivamente), adicionalmente en el marco inferior se lleva el conteo de los bytes recibidos (numéricamente y con un objeto), al estar completamente almacenado el paquete en la base de datos, se muestra inmediatamente en el marco (Paquetes de TLME:) el número de paquete que se recibió.

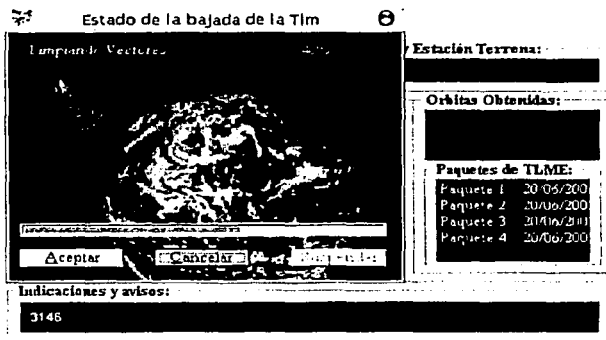


Figura 3.2 Captura de TLME.

El SET también cuenta con un módulo para desplegar la telemetría especial el cual se muestra en la figura 3.3, cuenta con 4 partes muy importantes que se describen a continuación:

1. Lista de los sensores que forman parte de la TLME recibida, estos sensores son los que previamente fueron especificados en la trama del comando de misión de TLME.
2. Gráfica de datos asociado al sensor elegido en "1". En el objeto aparece la gráfica correspondiente, indicando con diferentes colores y sonidos el sobrepaso del umbral del sensor. Cabe señalar que todas las gráficas tanto de TLMN como de TLME tienen un cursor de desplazamiento con el cual se puede conocer el valor del sensor en función de la muestra deseada, es decir su comportamiento en un instante específico.
3. Muestra la información con la que se ordenó la captura de TLME, esto es, órbita, muestreo, frecuencia de muestreo y el número total de sensores por muestrear.
4. En este lugar se cargan adquisiciones de TLME previamente capturadas para revisarla cuidadosamente en cierto momento para evaluar el funcionamiento del SATEX, en la misión elegida.

En esta sección se obtiene un acceso a los datos de las misiones almacenadas en la base de datos. El acceso se realiza por fecha y hora.

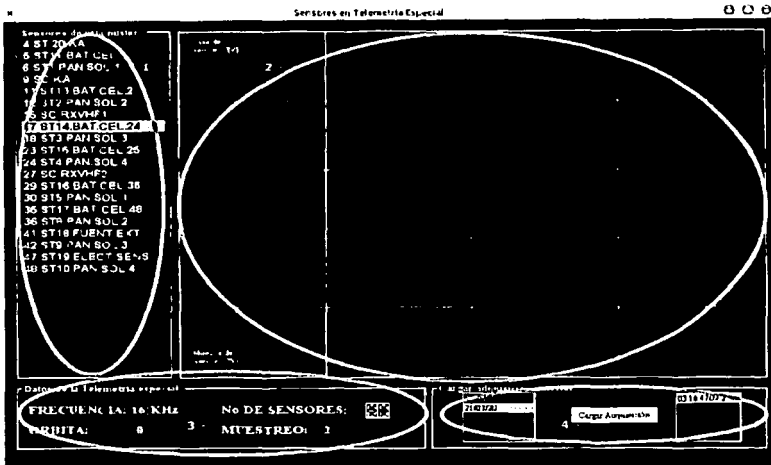


Figura 3.3 Gráfica de sensores de TLME.

3.3 Actualización y validación operativa del modulo de telemetría normal

Una vez adquirida la TLMN se pueden observar los resultados obtenidos en otros controles del SET. En la figura 3.4 se muestra la gráfica momentánea de 62 sensores de TLMN, como se mencionó anteriormente el software del sistema microsatelital contempla la existencia de hasta 65 sensores a bordo del vehiculo espacial, sin embargo, en este momento se encuentran 3 espacios libres de sensores que pueden utilizarse los equipos que sean necesarios. En la figura 3.5 se observa una ampliación de una gráfica especifica de un sensor, en la que se observará el comportamiento del sensor durante una orbita muestreándolo cada 10 minutos. Para identificar de una manera rápida las fallas, las gráficas manejan colores diferentes, por ejemplo en color amarillo indican el acercamiento al límite del funcionamiento del sensor, en tanto que en rojo señala que los datos del sensor ha sobrepasado el umbral máximo del sensor.

En el eje de las ordenadas las gráficas indican los valores de los sensores y en las abscisas el número de muestreo.

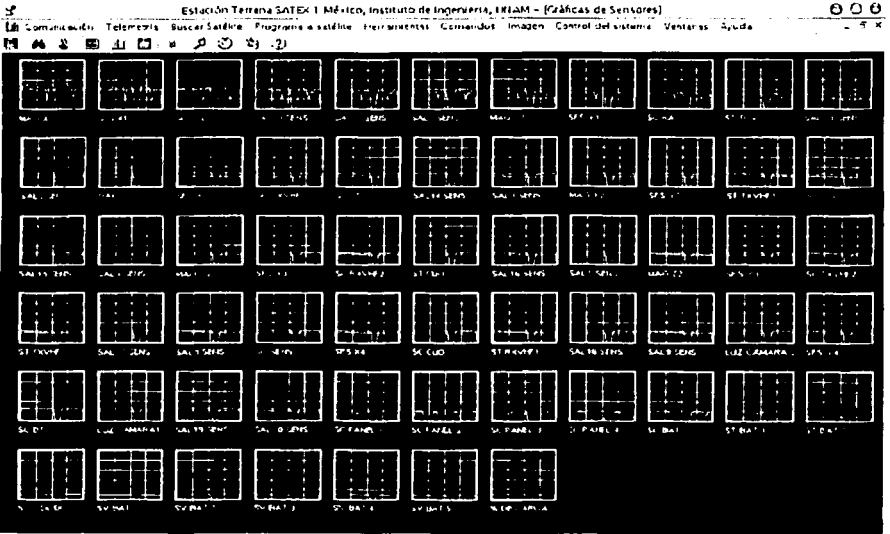


Figura 3.4 Gráficas de 62 sensores abordo el SATEX I.

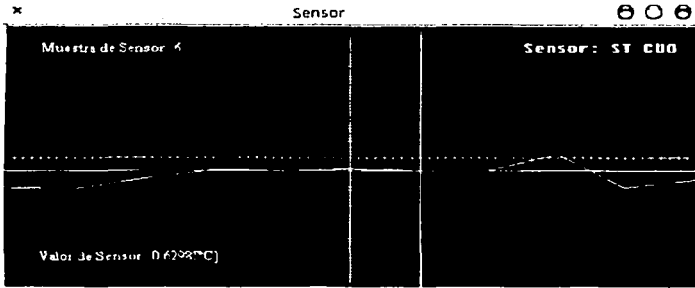


Figura 3.5 Ampliación del sensor ST CU0.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El SET cuenta con otra pantalla en la que se observan los valores numéricos reportados por cada sensor para la orbita y número de muestreo seleccionados, figura 3.6.

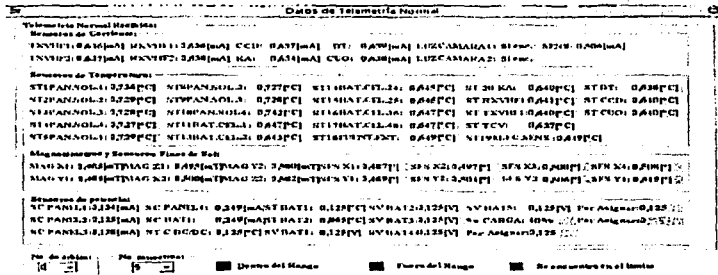


Figura 3.6 Valores obtenidos de los sensores de SATEX.

Al desplegar los datos numéricos de los sensores en colores distintos se logra identificar de manera rápida el estado del sensor, una vez calibrados los sensores se incluirán estos parámetros en las funciones de decodificación de telemetría para que aparezcan lecturas reales para cada sensor.

**TESIS CON
PALA DE ORIGEN**

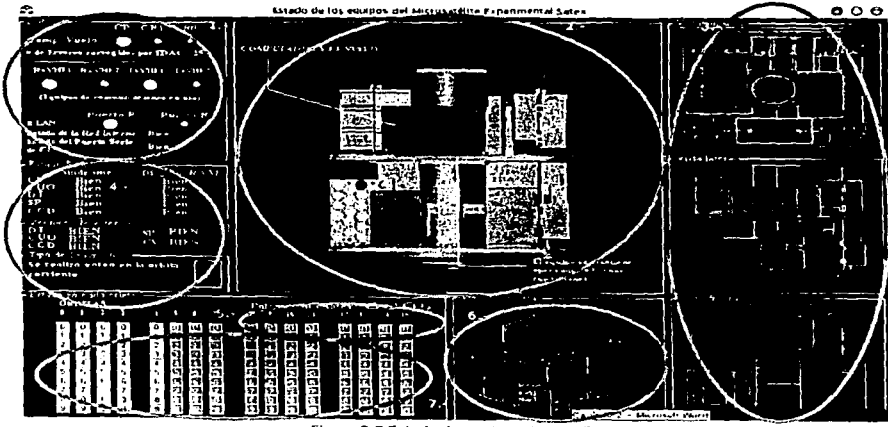


Figura 3.7 Estado de equipos del SATEX.

Un módulo importante del despliegue visual de la telemetría normal es el que muestra el estado de los equipos, como se vio en el capítulo anterior dentro de la trama de información capturada viene el estado de los equipos, ésta información es muy importante ya que por medio de ella se conoce rápida y fácilmente la capacidad que tienen los principales equipos del satélite para realizar sus tareas (ya sean programadas o indicado por medio de una misión). Por estas razones dentro de la figura 3.7 permite saber si los equipos del satélite se encuentran en buen estado o en condiciones de falla. De forma particular en la pantalla que se presenta en la figura 3.7 se aprecian los siguientes aspectos:

1. Información que es de gran utilidad como: procesador utilizado por la computadora vuelo del satélite, medios de transmisión y recepción utilizados para comunicarse con el SET, la red y el puerto que empleó para comunicaciones entre cargas útiles dentro del satélite así como los errores corregidos por el circuito integrado EDAC.
2. Animación de la estructura del SATEX (en 3D) realizada a escala, la cual se encuentra girando para proporcionar una idea clara de como están colocados los equipos dentro del SATEX. Se aprecia información de equipos al presionar el ratón en alguna de las vistas que se aprecian en la misma pantalla.
3. Las vistas superior, lateral y frontal del satélite sirven para mostrar indicaciones del punto 2. También cambian de color cuando se detecten fallas en alguna carga útil o equipo satelital.
4. Indican de manera clara los resultados del experimento denominado voto, se podrá apreciar en que estado se encuentra cada computadora que interviene en el experimento así como el número de errores producidos en su memoria RAM.
5. Indica el porcentaje de potencia disponible en el SATEX en el muestreo indicado.
6. Igual que 3, pero aquí solo existe una vista completa del SATEX en 3D.
7. Muestra 15 columnas (órbitas) cada una con 10 cuadros (muestreos de TLMN). Se trata de un control muy importante ya que al registrar el "clic" del ratón en cada cuadro actualiza toda la pantalla de despliegue con los datos de telemetría asociada al muestreo elegido. De esta forma, el usuario puede visualizar la telemetría capturada por el satélite para la misión analizada.

3.4 Actualización del comando de búsqueda y detección del microsátélite

Las comunicaciones satélite-Tierra se efectúan principalmente en tres velocidades de transmisión: 1200, 2400 y 4800 bauds. Lo más importante en la búsqueda o contacto con el satélite se detecta la velocidad de las comunicaciones utilizadas por la CV con la que operan los transmisores y receptores del satélite. Por ello se realiza un barrido por las velocidades de transmisión en las que el satélite puede estar trabajando, empezando por la velocidad más baja (de 1200 bauds siguiendo después la velocidad de 2400 y finalmente la velocidad de 4800 bauds).

Si el satélite opera en alguna de estas velocidades de transmisión la computadora de vuelo enviará una respuesta a la estación terrena por medio de los equipos de comunicación, así se reconocerá que el comando enviado se ejecuto perfectamente y que se ha establecido contacto con el microsátélite.

A continuación se muestra el diagrama de bloques del proceso de búsqueda del SATEX.

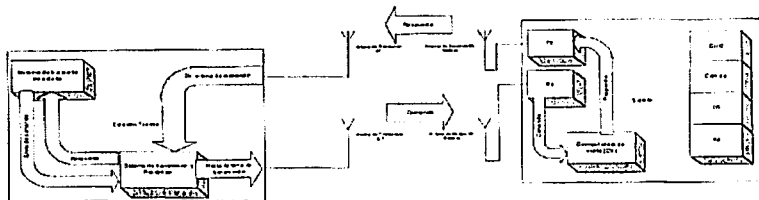


Figura 3.8 Diagrama de bloques del proceso de búsqueda del microsátélite.

En el SET utilizamos una rutina controlada por un Timer que realiza la esperar de una respuesta del SATEX para indicar que la estación terrena se encuentra en línea de vista con el microsátélite, de esta manera se pueden iniciar las comunicaciones. Si se agota el tiempo configurado del Timer y no se recibe ninguna respuesta se vuelve a enviar el comando un número determinado de veces, el usuario también puede definir el tiempo que se enviarán estos comandos, si se sobrepasa el número de envíos del comando el software se reconfigura automáticamente a la siguiente velocidad, si en esta velocidad tampoco se recibe alguna respuesta se reconfigurará automáticamente a la siguiente y así sucesivamente, se pueden consultar más detalles acerca de la búsqueda del SATEX en [Espinosa, 2003].

3.4.1 Comando para detectar al satélite

El comando 23 solo contiene el número del comando en el segundo casillero de la trama, por medio de este comando se activa una interrupción en el microsátélite, después el SATEX confirma que llego correctamente el comando y que se encuentra listo para recibir o enviar información. Como parte del protocolo de comunicaciones el SET verifica la respuesta enviada, si está es "N" significa que hubo error de Chksum, en tanto que la recepción de una "K" confirma que el comando fue recibido satisfactoriamente.

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2] ... cmd [26]	cmd [27]
Dec(128)	Dec(23)	"A" ... "A"	Chksum

La trama que envía el microsátélite en caso de confirmar que el comando llego correctamente tiene la siguiente forma:

cmd [0]	cmd [1]	cmd [2]	cmd [3]	cmd [27]	cmd [27]
Hex(CF)	Hex(00)	Hex(CF)	Hex(00)	Hex(00)	Hex(93)

Cuando el SET recibe la respuesta al comando de búsqueda satelital prepara el software para bajar telemetría, subir misión o para enviar comandos en línea, esto es, habilitan opciones que no estarán disponibles si la estación terrena no está en contacto con el microsatélite.

En las figuras 3.8 a) y 3.8 b) se presentan los controles que ayudan a realizar la búsqueda del satélite, en el control de la derecha, aparece la pantalla de configuración donde se especifica la velocidad a la que se va a realizar la comunicación, las veces que se va a enviar el comando si el satélite no responde, el retraso entre retransmisiones de comando, y por último el tiempo que estará visible el SATEX, estos datos se envían por medio de un comando en línea para que se puedan reconfigurar los parámetros del software de búsqueda para el próximo avistamiento que tengan SATEX y el SET.



Figura 3.8 a) BÚsqueda del SATEX I.

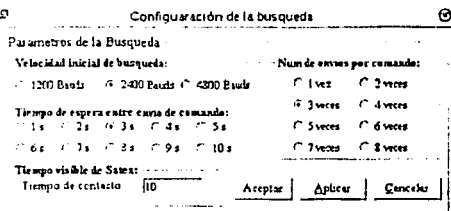


Figura 3.8 b) Configuración de la búsqueda.

No se descarta la posibilidad de que el comando de búsqueda se pierda durante la transmisión o que no se detecte el microsatélite aun cuando esté en línea de vista, pueden presentarse fenómenos como la interferencia, la atenuación, distorsión o el ruido, que hagan que se pierda el comando, por ello se envían repetidamente el comando hasta que se obtenga una respuesta del SATEX.

3.5 Actualización del módulo de visualización de resultados asociados al experimento MACV

En el SET existe un objeto que permite visualizar los resultados del experimento denominado mantenimiento automatizado de la computadora de vuelo (MACV). La bandera que permite actualizar este objeto se encuentra en la trama de telemetría normal, en el "byte" 19 del estado de los equipos, esta variable permite saber si SATEX realizó el experimento MACV. La bandera indica alguna de las siguientes posibilidades:

1. **Diagnostico simple.**
2. **MACV.**

1. En el diagnostico simple cada una de las computadoras efectúan en forma paralela su diagnóstico y posteriormente la CV solicita a cada una de ellas (CUO, DT, CCD, SP), el resultado de dicha evaluación.

El diagnóstico de las computadoras se realiza siempre y cuando el vehículo cuente con suficiente energía para activar a las computadoras.

El resultado de la evaluación realizada en cada una de las computadoras, comprende dos valores numéricos de un byte, en donde el primer valor es un "síndrome" de la computadora evaluada y el segundo es el resultado del diagnóstico de la memoria RAM de la computadora en estudio.

Para las computadoras de SATEX un "síndrome" es un valor numérico que define su estado operativo. En el microsatélite, cada computadora generará su propio síndrome y el resultado de su diagnóstico de RAM.

En la computadora de vuelo, el síndrome se forma con los parámetros que se indican en la siguiente trama:

Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7
ALU	Errores de RAM	TIMER 1 y TIMER 2	TIMER 2 y TIMER 3	TIMER 4	TIMER 5	TIMER 6	Walch Dog TIMER

El valor "1", en cualquiera de estos bits, indican una falla, mientras que el valor "0" indica que se encuentra funcionando correctamente.

El diagnóstico de la memoria RAM se realiza de dos formas:

- Las computadoras que no cuentan con un EDAC realizan el barrido periódico (escritura y lectura) en ocho zonas de su memoria a las cuales les corresponde un bit de estado operativo. El resultado de esta evaluación se representa mediante "1's", si hay falla en esa zona de memoria ó "0's", si no hay falla en esa zona de memoria.
- Para las computadoras que dispongan de un EDAC se lleva el conteo del número de fallas corregidas (de un bit) por el EDAC y este dato representa el diagnóstico de la RAM. Si el EDAC detecta errores de más de un bit, automáticamente genera un "reset" en la computadora de vuelo, por lo que en Tierra únicamente se detectaría que hubo un reset al leer la bandera de "misión previa".

En el proceso de diagnóstico simple, el síndrome y el diagnóstico de la RAM de cada una de las computadoras se envía a la CV con la finalidad de enviarlos a Tierra posteriormente como parte de la telemetría. La CV almacenará esta información por orbita y muestreo en la sección correspondiente al estado de los equipos en los bytes indicados enseguida para después reportarla a ET en el momento requerido.

Byte[4] - Byte[13] del estado de los equipos.

Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7	Byte 8	Byte 9	Byte 10	Byte 10	Byte 12	Byte 13
Síndrome de CV	Diagnostico de RAM de CV	Síndrome de CUO	Diagnostico de RAM de CUO	Síndrome de DT	Diagnostico de RAM de DT	Síndrome de CCD	Diagnostico de RAM de CCD	Síndrome de SP	Diagnostico de RAM de SP

El diagnóstico de RAM de cada carga útil se llena con la siguiente información:

Hex(90): Si no envía comando respuesta la carga a CV.

Hex(FF): Si existió un fallo total en la red interna de comunicaciones.

Hex(XX): Número de errores de RAM detectados por la carga útil en su autodiagnóstico.

Para obtener mayores detalles sobre este tema, se puede consultar el capítulo 5 de la tesis [Torres, 2002].

2. **MACV**, cuando se programa el experimento MACV desde Tierra, su ejecución está sujeta a la energía disponible en el satélite, ya que es necesario encender por lo menos cuatro computadoras.

Dentro de estas cuatro, debe de estar incluida la computadora del Detector de Tonos, ya que es la única carga que cuenta con hardware para reconfigurar a la computadora de vuelo. Durante el voto democrático, los datos de diagnóstico de la RAM se almacenan directamente en el estado de equipos de la telemetría normal, mientras que el síndrome de cada una de las computadoras se utiliza para realizar del voto, el cual también se envía a Tierra. El voto democrático involucra un intercambio de diagnósticos entre todas las computadoras del SATEX. Finalmente, todas las computadoras envían por "broadcasting" su colección de diagnósticos para que los nodos del satélite cuenten con información completa para realizar sus funciones de detección y tolerancia a fallas.

El algoritmo desarrollado en [LAMPOR, 1982] para la detección de las fallas Bizantinas, demuestra que para poder determinar una falla en un sistema se requiere que $2m+1$ procesadores se encuentren funcionando correctamente, donde m es el número de procesadores con falla. En la instrumentación del SATEX se supone que sólo una computadora fallará a la vez ($m = 1$), por lo que deben de tenerse funcionando correctamente al menos 3 computadoras. Debido a esta restricción, el voto democrático en SATEX, sólo puede realizarse si y sólo si existe energía suficiente para encender al menos 4 de las 5 computadoras que existen.

El proceso del voto democrático se detalla en capítulo 5 de la tesis de [Torres, 2002].

Se considera que la computadora semivirtual se forma con las computadoras CV, CUO, DT y SP. La CCD se encuentra disponible como respaldo, en caso de que falle alguna de las computadoras de carga útil.

Al finalizar el intercambio de diagnósticos, cada una de las computadoras que participan en este proceso realiza el voto mayoritario a partir de los diagnósticos obtenidos. Estos resultados, a su vez, se utilizan para reconfigurar la computadora de vuelo a través del DT, en caso de falla.

Por último, si no se detectó falla alguna en el procesador vigente de la CV, está calcula (por medio de la matriz formada con información de las computadoras restantes) el resultado de los votos para enviarlos como parte de la telemetría en el estado de equipos.

Posteriormente las cargas útiles generan sus señales eléctricas de permisos para que el DT pueda realizar la reconfiguración de la CV. Esta reconfiguración se realiza siempre y cuando el DT se encuentre en buen estado y a su vez cuente con el permiso de los demás procesadores. El permiso para el DT se obtiene al combinar las señales eléctricas con el hardware de voto mayoritario cuyo diagrama aparece en la figura 3.9:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

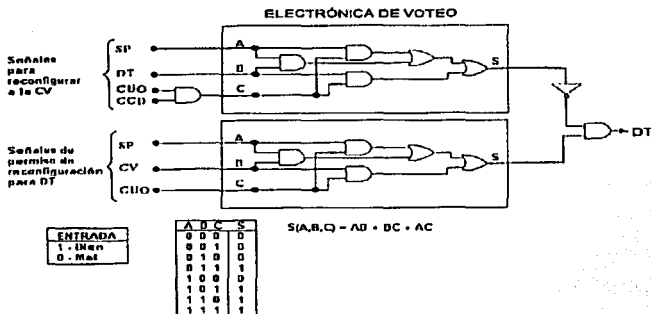


Fig. 3.9 Electrónica de voto para realizar la reconfiguración de la CV a través del DT.

A continuación se presentan los objetos con los cuales se obtiene en el SET información necesaria acerca del mantenimiento automatizado de la computadora más crítica del SATEX, la computadora de vuelo.

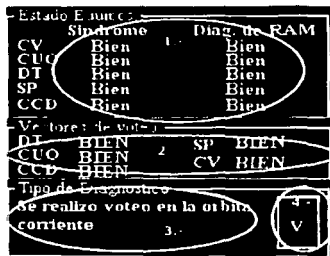


Fig. 3.10 Resultado de tipo de diagnóstico.

La figura 3.10 presenta la siguiente información:

1. Se observa directamente la información del síndrome y el diagnóstico de RAM de cada una de las computadoras a bordo del SATEX. Esta información se encuentra dentro del estado de los equipos en la información de la TLMN, en los bytes 4 al 13.
2. En este objeto se muestra de una manera general el resultado del voto democrático.
3. Se indica que tipo de diagnóstico fue realizado así como las posibles causas por las cuales no se realizó el experimento de voto democrático.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

- Al evento de presionar con el ratón este objeto se presenta de una manera visual (con graficas de barras y en colores distintos) el resultado del voto realizado, en caso de falla se notará la ausencia de la barra, en las figuras 3.11 se muestran ejemplos, en la de la izquierda ningún procesador tiene fallas y en la derecha se observa una falla en la carga de CCD.



Fig. 3.11 a) Resultado de voto sin fallas.



Fig. 3.11 b) Resultado de voto con fallas.

En la figura 3.12 se observan resultados de los síndromes reportados por cada computadora, con ellos se puede identificar de una manera rápida las fallas ocurridas en sus respectivos microprocesadores.

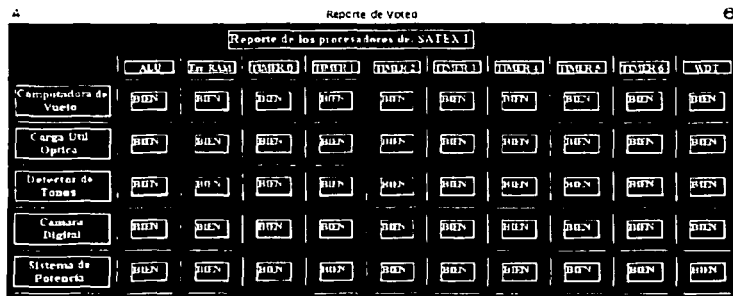


Fig. 3.12 Resultado de los síndromes de las computadoras de SATÉX.

3.6 Actualización del módulo de interacción con la computadora de sobrevivencia del microsátélite

La computadora de vuelo actualmente se encuentra ensamblada y validada con dos tarjetas con procesadores (procesador principal y procesador redundante), adicionalmente se prepara un segundo procesador redundante para tener tres tarjetas con procesadores, una principal y dos redundantes, figura 3.13, estas ultimas como refacciones en frio los cuales serán controlados para propósitos de mantenimiento por parte del Detector de Tones.

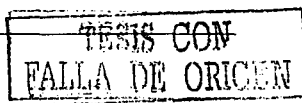




Fig. 3.13 Procesador actual del SATEX.

Por medio del objeto mostrado en la figura 3.13 el SET indica con que procesador se adquirieron los datos de telemetría correspondiente a la misión anallzada. La información que utiliza el control se encuentra dentro de los datos del estado de los equipos de la telemetría normal, en el primer byte. Lo ideal es que el procesador principal nunca falle y mientras esto suceda solo existirá una esfera encendida en el objeto, para el caso contrario la esfera cambiará de color y se encenderá el procesador que se encuentre operando, y así sucesivamente con el tercer procesador, de esta manera se observa el estado del procesador actual del microsatélite.

3.7 Actualización del módulo de interacción con el experimento de comunicaciones ópticas

El experimento de la CUO es un sistema de control retroalimentado que envía un "beacon" cónico desde la Estación Terrena con ayuda de un equipo de posicionamiento.

La CUO, al realizar el rastreo para capturar el "beacon", genera datos que se envían a Tierra para dicha retroalimentación. Estos valores se envían a través de un comando de respuesta. El primer byte de este comando, contiene el valor hexadecimal 55 que se utiliza como identificador del comando. El segundo byte, contiene el tipo de comando de respuesta, por el momento solo existen dos tipos, envío de variables de estado de SATEX y envío de datos de retroalimentación del experimento; sin embargo, este comando permite el envío de hasta 255 tipos diferentes que pueden utilizarse a futuro para otros fines.

Los comandos de respuesta contienen 27 bytes para transportar la información que se envía a Tierra. El último byte de la trama contiene un checksum que permite determinar si la información llegó correctamente.

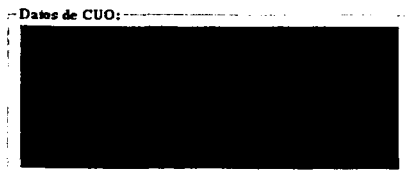


Fig. 3.14 control para la CUO.

En el objeto mostrado en la figura 3.14 se presenta información acerca del experimento con la carga útil óptica, el objeto se encuentra dentro del panel de control del SET.

3.8 Actualización del módulo de interacción con la cámara digital

La captura de las imágenes es otro de los experimentos que realizará el microsatélite. El experimento implica la captura de imágenes con una cámara comercial; tal petición se realiza en base al protocolo de la cámara y a los datos que necesita para realizar la captura. El proceso comienza desde el envío de un comando de misión de adquisición de imagen comentado en el capítulo anterior de la presente tesis.

La información de adquisición que envía la trama desde el segundo byte hasta el sexto es la siguiente: órbita, muestreo, minuto, segundo y resolución, la importancia de la resolución es el tamaño de la imagen que se formará, si se tiene una resolución muy alta el tamaño del archivo puede ser demasiado grande para el tiempo de transmisión que se tenga disponible en el momento del avistamiento del satélite.

Las resoluciones que se tienen definidas son 2:

- Resolución media: corresponde a 800 x 400 píxeles.
- Resolución alta: corresponde a 1200 x 800 píxeles.

Para hacer más precisa la captura de la imagen se le agrega 2 valores, el primero asociado con minutos y el segundo con los segundos de la adquisición, de esta manera se logra especificar el momento de captura de imagen en el tiempo de 1 segundo. Cuando se pierde de vista el SATEX con la estación terrena comienza el conteo de órbitas y muestreos (iniciando en órbita cero) a través de un Timer del microprocesador, con el transcurso del tiempo se actualizan algunas banderas que se toman en cuenta para el momento preciso de la captura de la imagen.

La CV enviará un comando para identificar que la cámara permita el acceso al espacio de memoria en donde tiene alojadas las imágenes que ha capturado, una vez abierto el acceso se procede a la petición de la imagen. La CV se almacenará la imagen en su memoria RAM, posteriormente procederá a cerrar la tarjeta e inmediatamente después apagará la cámara digital. La petición de la imagen se hará desde el SET, y posteriormente se realiza el despliegue de la imagen como se observa en la figura 3.15.

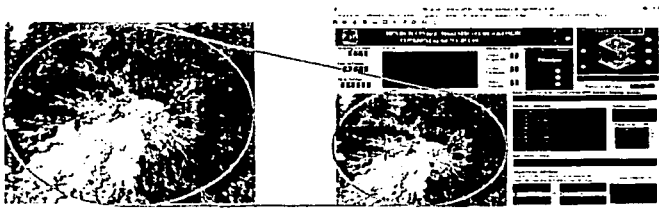


Figura 3.15 Pantalla en el software de estación terrena donde se muestra la imagen.

La información se guarda en un archivo en la base de datos, el formato con que se guardará la imagen es "jpg" debido a que ofrece muchas ventajas tanto en el tamaño del archivo generado como en el del despliegue de la imagen aunque existan algunos errores en el proceso.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 4

Pruebas de validación operativa del software de estación terrena

4.1 Introducción

La UNAM desarrolló la programación requerida para la operación del microsatélite tanto en el segmento espacial como en el segmento terrestre. En el segmento espacial se tiene el software de interacción con la estación terrena y el segmento de operaciones del microsatélite, en tanto que en el segmento terrestre se tiene el software de estación terrena.

El presente capítulo describe el equipo utilizado para validar los procesos más sobresalientes del SET, como: el almacenamiento y envío de comandos en línea, comandos de misión, la recepción de telemetrías (normal y especial), los resultados de diagnóstico de equipos del microsatélite, el reporte de resultados del experimento MACV y la captura de imágenes digitales.

Por medio del SET se realiza el control de experimentos en el satélite, los cuales se validaron completamente en laboratorio con ayuda del simulador de satélite SIMSAT y el software SOFDEVO.

4.2 Equipo utilizado para realizar la validación del SET en el laboratorio

La figura 4.1 muestra el diagrama de conexiones que se utilizó para validar el SET, se observan 2 computadoras personales, en una se ejecuta SOFDEVO y en la otra el SET, a su vez, las 2 computadoras personales y la computadora de vuelo se interconectan por medio del SIMSAT. Para validar algunos experimentos se utilizó adicionalmente un osciloscopio, un generador de señales y un multímetro.

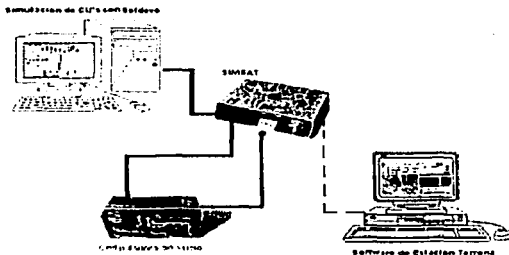


Figura 4.1 Diagrama de conexiones de equipos para validar el SET.

A continuación se describen los equipos utilizados:

- a) La computadora de vuelo del SATEX [Ortiz, 2003] requiere de software para llevar a cabo tareas como:
- Estabilización del microsatélite.
 - Tareas automáticas de inicio de vida una vez que sea liberado el satélite.
 - Captura de telemetrías.
 - Transmisión de telemetrías a Tierra.
 - Ejecución de órdenes que se envían desde Tierra en forma de comandos en línea, comandos de misión o nuevos programas para la CV.

La validación del software de operaciones de la CV describe detalladamente en la tesis de [Torres, 2002].

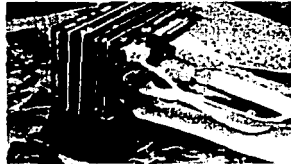


Figura 4.2 Computadora de Vuelo.

- b) El SIMSAT permite visualizar la operación de actuadores y equipos del microsatélite, entre ellos la liberación del SATEX, equipos VHF de comunicaciones, despliegue de antenas, bobinas de torque magnético y el gradiente gravitacional. Adicionalmente realiza la simulación física de los 48 sensores asociados a la computadora de vuelo por medio de potenciómetros colocados dentro del equipo.

El SIMSAT fue desarrollado para depurar y validar todo el hardware y el software de operaciones del microsatélite. Este equipo se puede comunicar con una tarjeta de procesador (se utilizó un microprocesador "SIEMENS") por medio de un conector de costilla de 50 contactos o se puede comunicar con la computadora de vuelo del SATEX por medio de 6 conectores tipo DB de diferentes capacidades. Adicionalmente contiene el hardware de red interna, de tal forma que por medio del SIMSAT se pueden interconectar hasta 4 computadoras personales, cada una ejecutando el software SFTDEVO. La figura 4.3 muestra el simulador del satélite utilizado en el laboratorio.



Figura 4.3 Simulador del satélite.

- c) EL Software de depuración, emulación y validación operativa (SOFDEVO) realiza principalmente las siguientes funciones:
- Intercepta el tráfico de comunicaciones en la red interna del microsátélite para mostrar con textos los procesos internos que se desarrollan, con este software se visualizan los procesos que se realizan dentro de la red interna, de otra forma sería invisible e imperceptible el tráfico de comandos por la RAL y de este modo la operación de la instrumentación del microsátélite se torna observable.
 - Puede simular las 5 cargas útiles que estarán a bordo del microsátélite, con lo cual se puede realizar la validación operativa de los equipos aunque todavía no se encuentren físicamente terminados.
 - Facilita la depuración del hardware del satélite y del SET.

La figura 4.4 muestra la pantalla principal del software SOFDEVO:

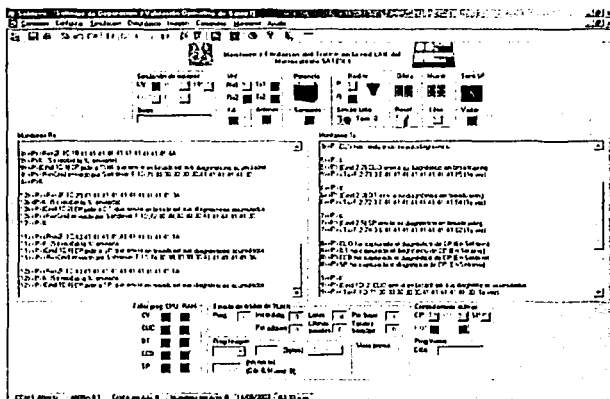


Figura 4.4 Software SOFDEVO

Algunos de los procesos del microsátélite que se han validado con estos equipos son los siguientes:

- El control de bobinas de torque magnético se validó con la CV y con SIMSAT.
- La detección del instante de liberación del microsátélite la cual se visualiza con el simulador de satélite por medio de led's.
- La recepción y ejecución de comandos en línea, comandos de misiones y nuevos programas se verifican con el software SOFTDEVO.
- La captura de telemetría y la transmisión de la misma bajo solicitud del SET, se valida con SOFDEVO.
- La interacción con los experimentos: cámara digital, detector de tonos, carga útil óptica, además de la interacción con el sistema de potencia, se validan por medio de la red de área local. Las pruebas de los procesos citados se realizaron usando la CV, SIMSAT y SOFTDEVO.

TESIS CON
FALLA DE ORDEN

4.3 Validación del proceso de envío de comandos de misión al microsatélite

Con el software de estación terrena se pueden programar los siguientes comandos para enviarlos posteriormente al microsatélite:

- I. Adquisición de telemetría normal.
- II. Programación del experimento de voto.
- III. Adquisición de telemetría especial.
- IV. Adquisición de imagen.

Para validar el proceso de envío de comandos de misión basta con comprobar las siguientes situaciones:

- a) El almacenamiento de los comandos de misión en la base de datos del SET.
- b) El envío de los comandos de misión almacenados.

Así, simultáneamente al validar el envío de los comandos de misión también se valida el almacenamiento de los comandos en la base de datos, de la misma forma se valida el ayudante (del SET) que permite formar misiones y almacenarlas en la base de datos o enviar al SATEX las misiones existentes en la base de datos.

La figura 4.5 muestra la pantalla principal del asistente del SET que permite elaborar comandos de misión, se observan las posibilidades de crear una "Nueva misión" o elegir "Misión existente". Si el ayudante se utiliza para crear una "Nueva misión", dentro de esta opción al terminar de proporcionar los parámetros necesarios de los comandos de misión que se deseen enviar, existen las opciones de almacenar la misión previamente elaborada en la base de datos o enviarla si se encuentran en línea de vista el satélite y su estación terrena.

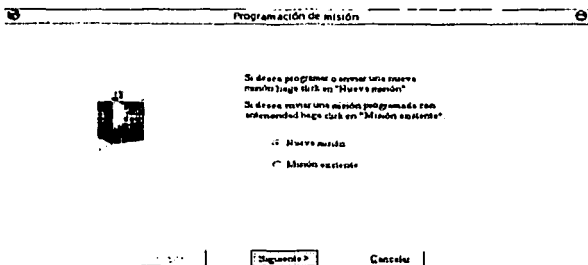


Figura 4.5 Asistente para la programación de los comandos de misión.

La figura 4.6 muestra los comandos de misión que se pueden elegir. La programación del experimento de voto está relacionado con el comando de adquisición de telemetría normal, es decir, el experimento de voto reporta información de todas las cargas útiles del SATEX dentro de la información de telemetría normal, si no se programa este experimento la computadora de vuelo realizará diagnóstico simple. De esta forma siempre reporta completa la trama de telemetría normal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los comandos restantes (adquisición de telemetría especial y adquisición de imagen) son independientes entre sí mismos y con respecto a los comandos de adquisición de telemetría normal y al experimento de voto. En la misión de ejemplo se validarán los 4 comandos que se pueden programar, por ello, en la figura 4.6 se observa que se encuentran seleccionados todos los comandos. Para preparar los comandos de misión solo se tienen que seleccionar los objetos que contienen el nombre de cada comando como se muestra en la pantalla.

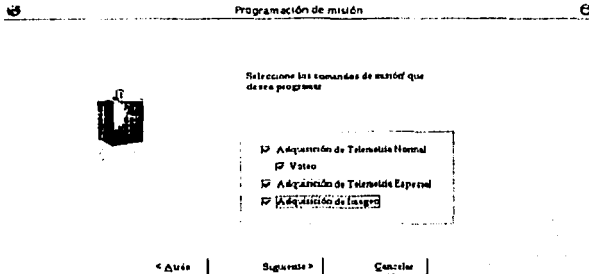


Figura 4.6 Comandos de misión.

La figura 4.7 presenta otra pantalla del asistente del SET, en esta se proporciona la información necesaria para el comando de adquisición de telemetría normal. Los parámetros que se indican son los siguientes:

- I. **Orbita inicial de adquisición:** existe la posibilidad de programar a la computadora de vuelo para que inicie la captura de datos en cualquier orbita, la orbita que se puede elegir para iniciar la captura de información se encuentra en el rango de 0-15. Si no se desea iniciar la captura de información desde la orbita cero (la orbita cero es la primer orbita que se puede programar, es decir el conteo empieza desde cero), por ejemplo, en la primer orbita se puede programar el comando de adquisición de telemetría especial o el comando de adquisición de imagen, por tal motivo el inicio de la adquisición de telemetría normal se puede programar después de la primer orbita si así se desea.
- II. **Número de orbitas de adquisición de la telemetría normal:** se pueden programar hasta 16 orbitas de adquisición de telemetría normal, aquí se indican el número de orbitas en las cuales la computadora de vuelo obtendrá información.
- III. **Confirmación para borrar la misión anterior:** la confirmación es una bandera, si se elige la opción "S" la computadora de vuelo desecha automáticamente la información capturada y trabaja con la nueva misión programada, por el contrario si se elige el parámetro "N" la computadora de vuelo incluye a la información capturada las características del nuevo comando programado, por esta razón existirá más información por reportar al SET en el siguiente avistamiento. Respecto a este modo se pueden obtener mayores detalles en la tesis de [Torres, 2002].

El comando que se utiliza para especificar la telemetría normal tiene varias características, las cuales se describen enseguida con base en el ejemplo que permite validar el comando durante su proceso de ejecución. En el ejemplo de uso que se observa en la figura 4.7 el usuario elige las siguientes opciones:

Orbita inicial de adquisición: 0.
 Número de orbitas de adquisición de telemetría: 3.
 Se desea borrar la misión anterior: S

Programación de misión

Parámetros para la adquisición de Telemetría Normal

Orbita inicial de adquisición: 0 Deses/Borrar Misión Anterior: S

No. de orbitas de adquisición: 3

Orbita:	0	1	2	3	4	5	6	7
Selec:								
Orbita:	8	9	10	11	12	13	14	15
Selec:								

< Atrás Siguiendo > Cancelar

Figura 4.7 Adquisición de telemetría normal.

Posteriormente el SET muestra las orbitas en las que se podrá programar el experimento de voto, figura 4.8, la pantalla solo permite seleccionar el experimento de voto dentro de las primeras 3 orbitas, ya que el comando de telemetría normal por validar solo realizará la captura de información en las primeras 3 orbitas, por tal motivo no se puede seleccionar este experimento en alguna orbita que no se haya programado. En La figura 4.8 se observa que solo se seleccionó el experimento de voto en la primer orbita.

Programación de misión

Selecciona las orbitas en las que desea programar el experimento de voto

Orbitas:

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

< Atrás Siguiendo > Cancelar

Figura 4.8 Programación del experimento de voto.

A continuación se describe con un ejemplo el uso del comando de telemetría especial. La figura 4.9 muestra una ventana del asistente del SET para elaborar el comando de adquisición de telemetría especial, los parámetros que se tienen que indicar son: orbita de adquisición de TLME, muestreo de adquisición, frecuencia con se tomarán las muestras de los sensores y además se tienen que seleccionar los sensores por muestrear.

TESTE CON
 FALLA DE ORIGEN

La figura 4.9 presenta seleccionadas las siguientes opciones:

Orbita de captura de datos: 0

Muestreo de adquisición de información: 3

Frecuencia: 4 kHz

Número de sensores: 19

Los sensores que se seleccionaron son los siguientes:

MAG.Z1, MAG.X2, MAG.Y2, MAG.Z2, SFS.X1, SFS.Y1, SFS.X2, SFS.Y2, SFS.X3, SFS.Y3, SFS.X4, SFS.Y4, SC RXVHF1, SC RXVHF2, SC TXVHF1, SC TXVHF2 y ST DT.

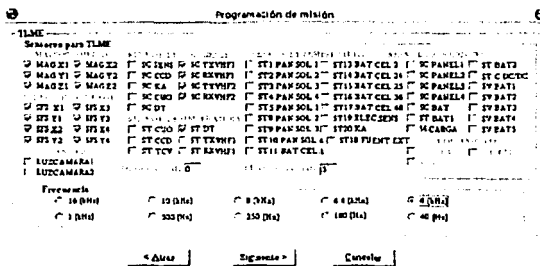


Figura 4.9 Adquisición de telemetría especial.

La figura 4.10 muestra la ventana para programar el comando de adquisición de imagen, los parámetros que se tienen que indicar son los siguientes: número de imagen, resolución con la cual la cámara CCD realizará la captura de la imagen y el tiempo en el cual se capturará la imagen. En la figura 4.10 el usuario elige los siguientes datos para enviarlos en la trama del comando:

Número de imagen: 1.

Resolución: 1200x1200 píxeles.

Minutos: 380.

Segundos: 45.

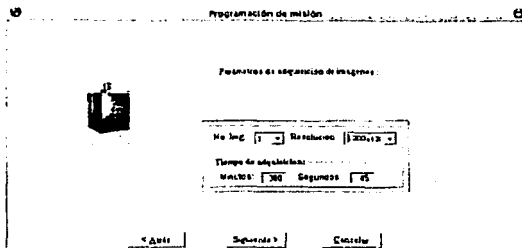
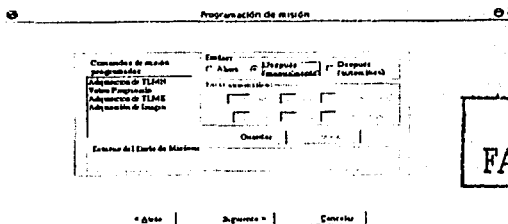


Figura 4.10 Adquisición de Imagen.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Hasta este momento, el usuario ha programado ya 4 comandos de misión (telemetría normal, votoe, telemetría especial e imagen) con ayuda del SET. Ahora es necesario revisar la misión elaborada y posteriormente enviarla al satélite para que se ejecute.

En la figura 4.11 se observa otra pantalla del ayudante del SET, la cual permite al usuario transmitir la misión formada o almacenarla en la base de datos. Dentro de esta pantalla (en el objeto Comandos de misión programados) se presenta una lista de los comandos formados. Con la misión elaborada se pretende validar el almacenamiento de los comandos en la base de datos, por tal motivo en la figura 4.11 se elige la opción "Guardar".



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.11 Asistente para enviar o guardar la misión programada.

Una vez almacenados los comandos de misión, se pueden consultar las tablas en la base de datos (tablas de: Cmd_Misión y Misión). Las figuras 4.12 a) y 4.12 b) presentan las tablas donde se almacenan las características de la misión.

La tabla "Cmd_Misión" reporta los siguientes datos: en el campo "no_misión" se encuentra el número de misión elaborada, dentro del campo "no_cmdmsn" se presenta la lista de comandos que pertenecen a la misión identificados por su número de comando, cada comando se encuentra en un registro. En la figura 4.12 a) se observan los comandos: 6, 8, 12 y 7 (cada comando pertenece a: adquisición de imagen, adquisición de telemetría normal, votoe y adquisición de telemetría especial, respectivamente), en la tabla se observan los campos: byte0 ... byte27, estos campos contienen los parámetros que forman el comando respectivo.

La figura 4.12 b) muestra la tabla "Misión", en los campos de la tabla se aprecia información del número de misión, fecha de creación, y estado de la misión. Dentro del campo "estado_misión" existen las siguientes posibilidades:

- El número 1 indica que existe alguna fecha de envío automático.
- El número 2 significa que la misión solo se guardo en la base de datos.
- El número 3 significa que la misión fue enviada con éxito.

Cmd_Mision: Tabla												
id	no_mision	no_cmdmsn	byte0	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	byte6	byte7	byte8	byte9
1	1	7	120	7	0	70	0	0	0	0	0	0
2	2	0	121	6	3	0	0	45	0	0	0	0
3	2	8	121	0	83	78	153	0	78	78	78	78
4	2	12	128	12	3	0	0	28	1	2	0	0
5	2	7	128	7	3	0	78	15	15	15	15	15
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.12 a) Tabla que contiene las tramas de los comandos.

Misión : Tabla				
no misión	fecha creación	estado_misión	Fecha de Prog	
1	03/27/2001 14:05:13	3-0		
2	19/05/2003 17:32:24	2-0		
3	0	0		

Registro: 14 | 1 | 2 | 3 | de 2

Figura 4.12 b) Tabla de misiones programadas.

El proceso utilizado para validar el almacenamiento de los comandos en la base de datos se realiza consultando las tablas correspondientes y de esta forma se valida también el asistente utilizado para elaborar los comandos de misión.

Para validar el proceso de envío de las misiones programadas desde el SET, con el asistente virtual se elige en la primer pantalla del ayudante la opción de "Misión existente".

La figura 4.13 muestra la pantalla del asistente cuando se elige la opción "Misión existente". Dentro del marco "Seleccione la misión" se presenta una lista de las misiones almacenadas, en esa lista se observa el número de misión correspondiente, la fecha y hora de creación. El siguiente paso es elegir la misión que se desea enviar, cuando se selecciona la misión, dentro del cuadro "Detalles" aparecen inmediatamente las características de los comandos por enviar, así se pueden conocer las características de la misión que se desea enviar y posteriormente se puede oprimir el botón llamado "Enviar".

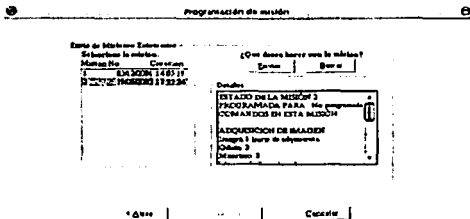


Figura 4.13 Ventana que contiene las misiones programadas.

En las figuras 4.14 a), 4.14 b) y 4.14 c) se observan las características de los comandos que se van a enviar, estas características se encuentran dentro del marco "Detalles" de la figura 4.13.

ADQUISICIÓN DE TLMN
 No de orbitas de adq: 3
 Orb. Inicial de Adq: 0
 ¿Se queda la anterior?(S/N): N

Figura 4.14 a)

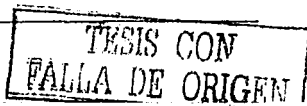
VOTEO
 Realizar votoo: S
 Orbitas con votoo: 2,3,

Figura 4.14 b)

ADQUISICIÓN DE IMAGEN
 Imagen 1 Inicio de adquisición:
 Orbita: 3
 Muestreo: 8
 Minuto: 0 Segundo: 45
 Resolución: 1600

Figura 4.14 c)

En el momento en que se oprime el botón "Enviar", el SET realiza el siguiente protocolo de comunicaciones para enviar los comandos:



Envía el primer comando que se encuentra en el primer registro de la tabla "Cmd_Misión" en la base de datos de la misión correspondiente, en este momento existe un tiempo de espera para recibir el acknowledge correspondiente. Si recibe un acknowledge equivocado (N) vuelve a enviar el mismo comando de misión y espera de nuevo el acknowledge correspondiente, si de la misma forma recibe acknowledge equivocado (N) ya no se envía este comando para no caer en redundancias excesivas, la opción ideal es que siempre lleguen los comandos correctamente durante el primer intento, para este caso el SATEX siempre va a contestar con un acknowledge correcto (K) y el siguiente paso que realiza el SET es enviar el siguiente comando y esperar una respuesta del SATEX, este proceso se realiza para todos los comandos de misión que se desean enviar.

En la figura 4.15 a) se observa el envío del comando 7, en el momento en que se envía aparece la línea "El comando 7 ha sido enviado", y en ese momento espera el acknowledge correspondiente, en el momento que recibe el acknowledge, si luego correctamente aparece la línea "El comando 7 se ejecuto satisfactoriamente" si luego un acknowledge incorrecto aparece el mensaje "No se ejecuto el comando de misión" y en ese momento vuelve a enviar el comando una vez más. Las figuras 4.15 b) y 4.15 c) realizan el proceso comentado para enviar los siguientes comandos y se observa en las pantallas que los comandos se ejecutan satisfactoriamente.

```

El estado del envío del comando 7 es el
siguiente
>
>
>El comando 7 ha sido enviado
>
>El comando 7 se ejecutó
satisfactoriamente

```

Figura 4.15 a)

```

El estado del envío del comando 8 es el
siguiente
>
>
>El comando 8 ha sido enviado
>
>El comando 8 se ejecutó
satisfactoriamente

```

Figura 4.15 b)

```

El estado del envío del comando 6 es el
siguiente
>
>
>El comando 6 ha sido enviado
>
>El comando 6 se ejecutó
satisfactoriamente

```

Figura 4.15 c)

Si algún comando no completa su proceso el sistema deja de enviar el comando y envía el siguiente comando, así la computadora de vuelo solo ejecutará los comandos que capture correctamente.

4.4 Validación de los procesos de captura, despliegue, almacenamiento y recuperación de telemetría

La adquisición de datos de telemetría normal consiste en la recopilación de datos de diagnóstico de equipos, muestras de sensores de la computadora de vuelo y muestras de sensores del sistema de potencia. Para validar este proceso se utiliza el software "SOFDEVO", con este software se pueden observar las acciones que está ejecutando la computadora de vuelo, el número de muestreo y el número de órbita en la que se encuentra esta computadora, el tipo de diagnóstico entre cargas útiles (simple o voteo), el intercambio de datos entre las distintas cargas y se pueden simular fallas a las mismas computadoras, además simula los datos de los sensores del sistema de potencia que son reportados en la trama de TLMN.

Cuando la computadora de vuelo envía la información de TLMN al SET, los resultados pueden verificarse utilizando las distintas pantallas del SET que se encuentran dentro del software, los valores simulados tienen que corresponder con los recibidos en Tierra.

En el punto 4.3 se formaron comandos de misión, las características de estos comandos se utilizan aquí para validar que se cumplan los siguientes puntos:

1. Comprobar la recepción de telemetría normal.
2. El despliegue de la información con instrumentos virtuales.
3. Almacenar la información de la telemetría normal en la base de datos y recuperar esta información.

Las figuras: 4.16 a), 4.16 b), 4.16 c) y 4.16 d) muestran una pantalla que se encuentra dentro del software de estación terrena, se utiliza para verificar la recepción de telemetrías.

El proceso de recepción de telemetría normal es el siguiente:

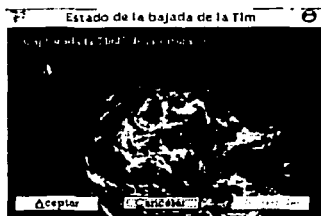
El SET envía el comando 10 a la computadora de vuelo solicitando que envíe a Tierra la información capturada de telemetría normal, en ese momento aparece la figura 4.16 a) indicando que está esperando el acknowledge correspondiente de la CV del SATEX como confirmación del satélite para enviar la información solicitada a Tierra. Si el acknowledge recibido en el software de estación terrena es correcto (k), la pantalla indica el inicio de la recepción de telemetría normal (se observa la figura 4.16 b)), en este momento la computadora de vuelo del SATEX envía la trama de información de una órbita a Tierra, justo en ese momento la computadora de vuelo del SATEX espera el acknowledge correspondiente del SET, si el acknowledge que recibe la CV es incorrecto (N), la CV envía nuevamente la información y a continuación espera el acknowledge, si el acknowledge otra vez es incorrecto (N), la CV ya desecha la información y deja de enviar los datos de telemetría normal hasta que el SET envíe otra vez el comando 10 a la CV del microsatélite indicando que vuelva a enviar datos de TLMN solicitada a Tierra. Se espera que los casos comentados no sucedan, así cuando el SET recibe información de una órbita de TLMN y envía a la CV del SATEX un acknowledge correcto (k) confirmando que llegó correctamente la información, en la pantalla aparece que fue capturada la información de una órbita (se presenta la figura 4.16 c)), en ese momento si existe más información por enviar, la CV continúa realizando el mismo proceso, órbita por órbita, en el momento en el que el SET recibe toda la información que tenía capturada la CV, el SET indica en la pantalla que ya no existe más información por capturar (se observa en la figura 4.16 d)).



Figura 4.16 a)



Figura 4.16 b)



Figuras 4.16 c)



Figuras 4.16 d)

Las figuras 4.16 Muestran el proceso de recepción de TLMN.

Cuando el SET recibe información de una orbita, en la pantalla principal dentro del panel de control existe el cuadro llamado "Estado del Checksum:", dentro de este marco se presenta una lista con la información clasificada por muestreo. En la figura 4.17 se observa que se encuentran listos todos los muestreos de una orbita para ser analizados en los distintos objetos del SET.

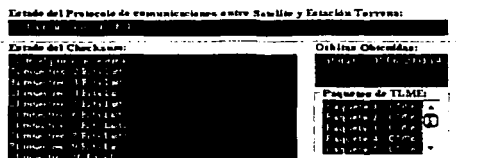


Figura 4.17 Objeto que indica la recepción de TLMN.

Para comprobar si la información que se capturó, se obtuvo de forma correcta o incorrecta, en el momento de oprimir el ratón sobre alguna orbita que se encuentre dentro del marco llamado "Orbitas obtenidas:", aparece el checksum calculado por el SET y el checksum enviado por la CV en cada muestreo, esta información se observa en la figura 4.18 en el cuadro "Estado del Checksum:", en el momento en que no coincidan estos dos checksum quiere decir que se presentaron errores al recibir la Información en algún muestreo de la orbita correspondiente.

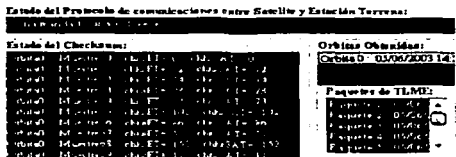


Figura 4.18 Verificación de los checksum de TLMN.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Una vez capturada la información en el panel de control, se pueden abrir las tablas que se encuentran en la base de datos para comprobar que la información capturada corresponde a la información programada.

TLMN: Tabla

id	proj	TLMN	Orbita	Intestorno	sensor_0	sensor_1	sensor_2	sensor_3	sensor_4	sensor_5	sensor_6	sensor_7	sensor_8
12	0	0	2	243	411	542	545	551	554	554	243	413	544
13	0	0	3	243	411	542	545	551	554	554	243	413	544
14	0	0	4	244	449	590	621	607	627	627	243	496	556
15	0	0	4	259	475	654	658	663	746	743	473	493	651
16	0	0	5	259	474	648	620	627	753	743	473	479	643
17	0	0	5	251	477	661	653	659	774	743	473	473	648
18	0	0	7	263	472	652	653	659	736	740	473	473	648
19	0	0	8	267	477	651	653	650	732	745	480	480	648
20	0	0	8	543	245	742	745	749	772	743	244	244	734
21	0	0	13	243	410	542	545	551	554	554	243	411	544
22	1	2	1	243	449	590	621	607	627	627	243	411	544
23	1	2	2	244	411	543	545	553	564	243	411	544	
24	1	2	3	245	451	599	601	603	620	243	456	592	
25	1	4	4	259	475	654	657	663	743	243	473	657	
26	1	4	4	259	475	647	650	657	753	245	478	643	
27	1	6	6	263	479	652	654	671	778	244	474	650	
28	1	7	7	263	473	652	654	659	737	245	473	647	
29	1	8	8	267	477	651	653	650	732	245	480	646	
30	2	1	2	543	245	743	746	749	772	531	244	736	
31	2	1	2	245	408	542	545	551	554	243	412	544	
32	2	2	2	245	451	599	601	608	628	243	456	597	
33	2	2	2	245	412	544	545	553	565	244	413	544	
34	2	2	3	245	451	600	602	609	620	243	457	598	
35	2	4	4	259	476	656	660	665	752	243	475	653	
36	2	4	4	250	475	648	652	657	753	245	483	644	
37	2	6	6	261	480	663	665	672	760	243	476	660	
38	2	7	7	263	473	652	654	661	737	245	473	647	
39	2	8	8	262	477	652	653	659	732	245	481	646	
40	2	9	9	543	245	743	745	749	773	531	244	736	
41	2	10	10	245	411	542	545	551	554	244	412	544	

Figura 4.19 a)

Número de mision

TLMN: Tabla

sensor_05	sensor_07	sensor_09	sensor_33	sensor_35	sensor_37	sensor_63	sensor_65	sensor_67	no mision	Fecha de Act
128	128	128	128	128	128	0	128	128	2	30/05/2003 14 33 43
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	8	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	0	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	8	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	0	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	8	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	0	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	8	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	0	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	8	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	0	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	8	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	0	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	2	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	8	128	128	2	30/05/2003 14 33 44
128	128	128	128	128	128	0	128	128	2	30/05/2003 14 33 44

Figura 4.19 b)

Las Figuras 4.19 presentan la tabla de información de TLMN de 3 orbitas.



La figura 4.19 a) contiene información del número de orbitas que fueron programadas por el comando de adquisición de telemetría normal, cada orbita contiene sus respectivos 10 muestreos en los cuales se encuentran las muestras obtenidas por cada sensor, en la figura se aprecian datos de los primeros 9 sensores, estos datos fueron obtenidos por la computadora de vuelo (el proceso del envío del comando de misión 7 se desarrolló en el punto 4.3, en este comando se programó la adquisición de 3 orbitas).

La figura 4.19 b) muestra información complementaria de la figura 4.19 a), en esta figura se observa información de los últimos 9 sensores que corresponden a sensores del sistema de potencia, la misión correspondiente de estos datos es la misión número 2 y la fecha de adquisición de la información corresponde al 30 de mayo de 2003.

Una vez capturada la información de telemetría normal se pueden generar las gráficas para cada sensor con el software de estación terrena, en la figura 4.20 a) se observan las gráficas correspondientes de 62 sensores que estarán a bordo del SATEX y en la figura 4.20 b) se observa una ampliación de la gráfica correspondiente del sensor de corriente SC TxVHF1.

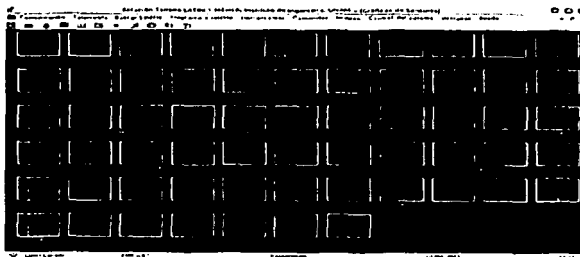


Figura 4.20 a)

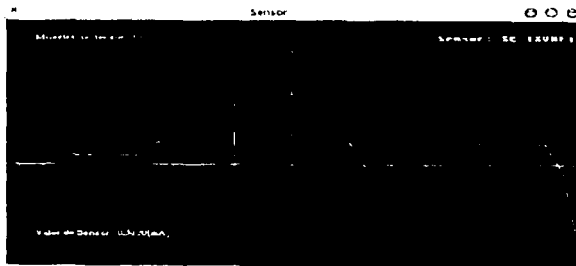


Figura 4.20 b)

Las figuras 4.20 a) y 4.20 b) presentan las gráficas de los sensores de TLMN.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con la ampliación de la gráfica de cada sensor se pueden validar las alarmas, si la muestra tomada se acerca al umbral máximo del sensor la gráfica cambia de color solo en los puntos donde se sobrepasa el límite, así se identifica de una manera más rápida en que gráfica (de las 62 que existen) se detectó la presencia de fallas en el sensor y se puede conocer a detalle en que muestreo sobrepasa el límite.

SOFDEVO simula 14 sensores del sistema de potencia, para simular cada sensor SOFDEVO envía señales: senoidales, cuadradas y triangulares, así las gráficas realizadas en el SET para los sensores simulados tienen que corresponder a las señales enviadas por este software. Las primeras 48 gráficas son realizadas con datos medidos por el microprocesador de la computadora de vuelo, estas muestras se toman de 10 potenciómetros conectados dentro del SIMSAT.

La figura 4.21 muestra una pantalla del SET que se utiliza para observar la amplitud que presentan los sensores dentro del muestreo correspondiente, dentro de esta pantalla existen 2 cuadros llamados: "No de orbita:" y "No de muestreo:", estos 2 marcos se utilizan para observar los resultados de las muestras obtenidas en las orbitas programadas en el respectivo comando de misión.

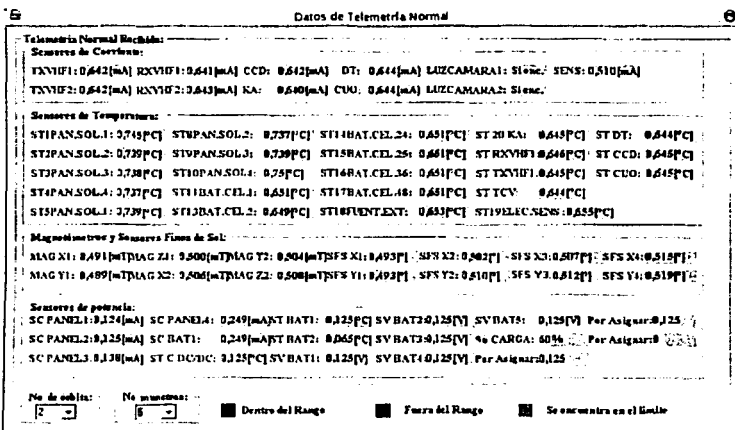
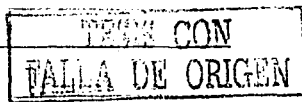


Figura 4.21 Datos de sensores de TLMN.

La recuperación de la telemetría normal se hace de la siguiente manera:

Dentro del panel de control del SET existe un marco llamado "Adquisiciones anteriores:", este cuadro se observa en la figura 4.22, se encuentra dividido en tres objetos y un botón, al evento de seleccionar la fecha de la adquisición de la telemetría en el objeto que se encuentra a la izquierda de este cuadro, aparece una lista de las telemetrías que se encuentran almacenadas en la base de datos, esta lista aparece en el objeto central de este cuadro, cuando se selecciona alguna de estas telemetrías automáticamente en el objeto que se encuentra a la derecha de este cuadro aparecen los detalles de la misión obtenida.



Una vez que se selecciona la telemetría que se desea seleccionar se oprime el botón "Cargar Adquisición" y los datos estarán listos para ser analizados en todas las pantallas que se encuentran dentro del SET, enseguida se pueden verificar las gráficas generadas para cada sensor y la ventana llamada "Datos de Telemetría Normal", así se valida la recuperación de esta información.

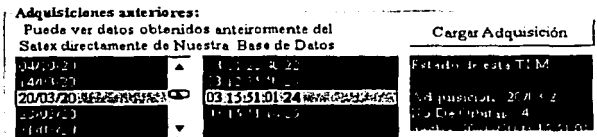


Figura 4.22 Cuadro para cargar una adquisición de TLMN.

A continuación se presenta la recepción de TLME.

La información que se obtiene con los datos de TLME corresponde únicamente a datos de sensores, esta información se verifica por medio de gráficas y las muestras obtenidas se almacenan en la base de datos en forma de una cadena de caracteres.

El SET recibe 40,000 bytes de información, los datos recibidos pueden contener información de 1 a 20 sensores. Estos 40,000 bytes los recibe en forma de paquetes, es decir, recibe 10 paquetes y cada paquete esta formado por 4,000 bytes.

El proceso de recepción de TLME es el siguiente: cada vez que el SET captura un paquete correctamente envía el acknowledge correspondiente (k) al microsatélite para indicarle que se capturó correctamente la información, inmediatamente después el SATEX envía el siguiente paquete y así sucesivamente, hasta que la computadora de vuelo envía los diez paquetes, si un paquete llega con errores el SET envía como acknowledge el carácter (N), con este dato se le indica a la CV que envíe de nuevo el paquete, y si vuelve a llegar con errores, la CV ya no envía de nuevo el paquete y prosigue enviando el siguiente paquete. El SET identifica cuales paquetes se encuentran con errores y no los toma en cuenta para realizar las gráficas de los sensores requeridos.

La figura 4.23 muestra los objetos utilizados para recibir la información de TLME, en la figura se aprecia la recepción de 4 paquetes de TLME y se muestra el progreso de recepción del quinto paquete, adicionalmente se observa la cantidad de bytes recibidos del paquete.



Figura 4.23 Recepción de los paquetes de TLME.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Quando el SET recibe los diez paquetes se puede consultar la tabla de "TLME" en la base de datos, en esta tabla se pueden verificar los datos de la información obtenida. Como se observa en la figura 4.24, la tabla de telemetría especial reporta los siguientes datos: la misión obtenida fue la número 1 y se obtuvo la información el día 24 de junio del 2003.

TLME Tabla										
id	id	Orbita	Muestreo	Nº_sensores	Frecuencia	Sensores	Datos	Misión	Fecha_mision	Fecha_adj
1	0	3	20	5	42X_349_0TIDZDZY			1	24/06/2003 10:37:24	
4	3J	1	0	20	0	SC RXVHF1		3	29/07/2003 17:10:07	
4	(Autonómico)	0	0	0	0				0	

Registro: 14 de 1 | 1 | > | < | << | >> | de 2

Figura 4.24 Tabla de TLME.

La figura 4.25 muestra la gráfica del sensor SC RXVHF2, solo basta con seleccionar el sensor que se encuentra en el cuadro "Sensores de esta misión:" que se encuentra en esta pantalla y se actualiza de forma inmediata la gráfica, en esta ventana se observa: el número de orbita, muestreo y la frecuencia a la cual se obtuvieron los datos, esta información se encuentra dentro del cuadro "Datos de Telemetría especial" de la misma pantalla.

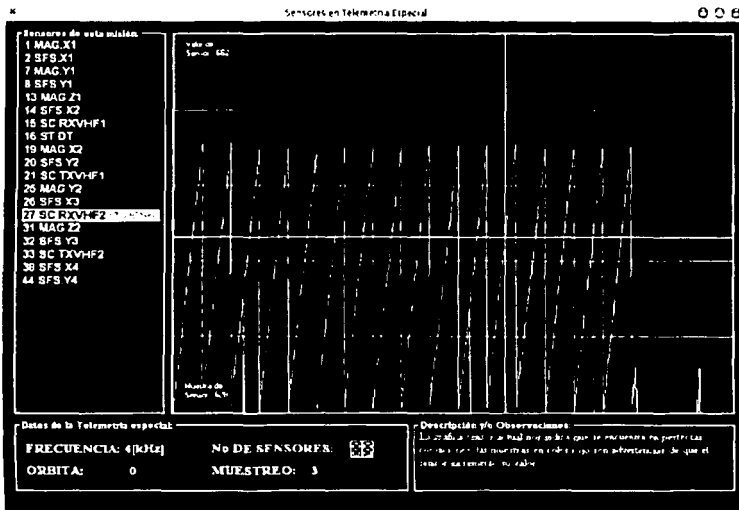


Figura 4.24 Gráfica del sensor número 27.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4.5 Validación de los resultados de estado operativo del microsatélite

En el punto 4.4 se mencionó del proceso de captura, despliegue, almacenamiento y recuperación de telemetría normal, dentro de la información de telemetría normal se reportan bytes de diagnóstico de equipos.

Se utilizó el software SÓFDEVO para monitorear las misiones enviadas desde el SET, en el punto 4.3 se envió el comando de adquisición de telemetría normal con las siguientes características:

- Orbita Inicial de adquisición: 0.
- Número de orbitas de adquisición de telemetría: 3.
- Programación del experimento de voo solo en la orbita 1.

Las figuras 4.25 a) y 4.25 b) presentan la tabla llamada "Status", esta tabla contiene la Información de diagnóstico de equipos. En la figura 4.25 a), se observa el campo llamado "Orbita", se observan las 3 orbitas que se programaron por medio del comando 7, cada orbita con sus respectivos 10 muestreos (cada muestreo se encuentra colocado en un registro de la tabla). En la figura 4.25 b) se observa el campo llamado "status_19", en este campo se muestra el tipo de diagnóstico que se realizó, el número 48 indica que se obtuvo diagnóstico simple y el número 32 reporta que se realizó el experimento de voo.

Orbitas adquiridas

Status: Tabla

Muestro	Orbita	Muestra	Status 0	Status 1	Status 2	Status 3	Status 4	Status 5	Status 6	Status 7	Status 8
81	0	1	0	142	51	0	0	0	0	0	0
82	0	2	1	142	51	0	0	0	0	0	0
83	0	3	2	142	51	0	0	0	0	0	0
84	0	4	3	142	51	0	0	0	0	0	0
85	0	5	4	142	51	0	0	0	0	0	0
86	0	6	5	142	51	0	0	0	0	0	0
87	0	7	6	142	51	0	0	0	0	0	0
88	0	8	7	142	51	0	0	0	0	0	0
89	0	9	8	142	51	0	0	0	0	0	0
90	0	10	9	142	51	0	0	0	0	0	0
91	1	1	16	142	51	0	0	0	0	0	0
92	1	2	17	142	51	0	0	0	0	0	0
93	1	3	18	142	51	0	0	0	0	0	0
94	1	4	19	142	51	0	0	0	0	0	0
95	1	5	20	142	51	0	0	0	0	0	0
96	1	6	21	142	51	0	0	0	0	0	0
97	1	7	22	142	51	0	0	0	0	0	0
98	1	8	23	142	51	0	0	0	0	0	0
99	1	9	24	142	51	0	0	0	0	0	0
100	1	10	25	142	51	0	0	0	0	0	0
101	2	1	32	142	51	0	0	0	0	0	0
102	2	2	33	142	51	0	0	0	0	0	0
103	2	3	34	142	51	0	0	0	0	0	0
104	2	4	35	142	51	0	0	0	0	0	0
105	2	5	36	142	51	0	0	0	0	0	0
106	2	6	37	142	51	0	0	0	0	0	0
107	2	7	38	142	51	0	0	0	0	0	0
108	2	8	39	142	51	0	0	0	0	0	0
109	2	9	40	142	51	0	0	0	0	0	0
110	2	10	41	142	51	0	0	0	0	0	0

Figura 4.25 a)

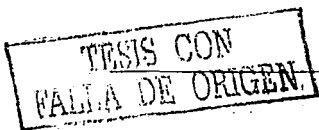


Figura 4.25 muestra una tabla de diagnóstico de equipos con 11 columnas de estado (Status 11 a Status 21) y una columna de fecha de datos. El título de la tabla es "Status: Tabla".

Status 11	Status 12	Status 13	Status 14	Status 15	Status 16	Status 17	Status 18	Status 19	Status 20	Fecha datos
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.48
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.48
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.48
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.48
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.48
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.48
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.48
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.48
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.48
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	170	170	10	32	5	2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49
0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	5 2008/2003 14.53.49

Resultados del experimento de voteco

Figura 4.25 6)

Las figuras 4.25 muestran los datos de la tabla del diagnóstico de equipos.

En la figura 4.26 en el cuadro que tiene por nombre "Estado en cada orbita" presenta encendidas 3 columnas, cada columna equivale a una orbita, si estas columnas encienden en color amarillo indica que se realizó diagnóstico simple durante la adquisición de la información, y si la columna encienden en color azul indica que se realizó el experimento de voteco. En esta figura se observan los siguientes resultados:

- Procesador que utilizo la computadora de vuelo para realizar la captura de Información: Principal.
- Radios de comunicaciones utilizados para enviar la información al SET: RxVHF1 y TxVHF1.
- Utilizó la red RAL: Principal y se encuentra bien.
- El estado del puerto serie de ET: bien.

La figura 4.26 se actualizó con los resultados obtenidos en la orbita 0, muestreo 3, aquí se indica que el tipo de diagnóstico que se realizó fue: diagnóstico simple, el reporte de los datos del síndrome y del diagnóstico de RAM muestra que se encuentran bien todas las cargas útiles.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

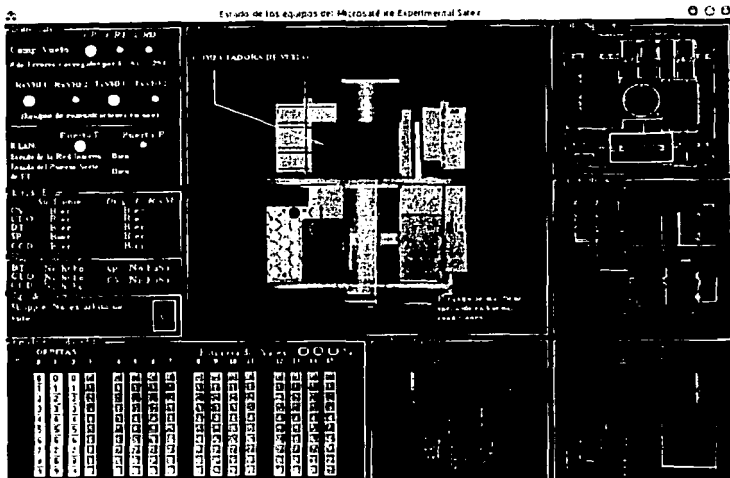


Figura 4.26 Diagnóstico de los equipos en el SET.

4.6 Validación funcional del experimento MACV

SOFDEVO permite la depuración del software asociado a los procesos de diagnóstico, detección y corrección de fallas de la arquitectura de cómputo semivirtual que se desarrolló como quinto experimento para el microsatélite. La arquitectura resuelve autónomamente los procesos de diagnóstico, detección y de corrección automatizada de fallas en los procesadores de la computadora de vuelo contando con el apoyo periódico de las 4 computadoras del SATEX (emulados en este caso con SOFDEVO).

En la figura 4.27 a) se observa el cuadro "Estado de Equipos:", la pantalla indica que no se obtuvieron errores en ninguna carga útil, es decir los síndromes formados por cada computadora y los diagnósticos de RAM se encuentran en perfectas condiciones, en la figura 4.27 b) se observa la gráfica con los resultados del experimento MACV, ninguna carga tiene ausencia de la barra lo que significa que no se encontraron errores durante el experimento de voto. Por último en la figura 4.27 c) se muestran los resultados de los síndromes y se puede apreciar el estado de los microprocesadores de cada carga, se observa que ninguno reporta la presencia de fallas en algún Timer, en la ALU o en errores en memoria RAM.

Las pantallas que se presentan en las figuras 4.27 a), 4.27 b) y 4.27 c), se actualizaron con los datos obtenidos en la órbita número 1 y tercer muestreo que aparece en la figura 4.26.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

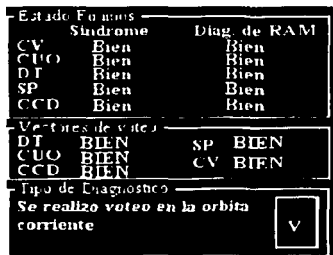


Figura 4.27 a)

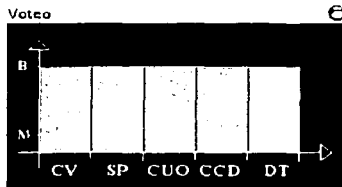
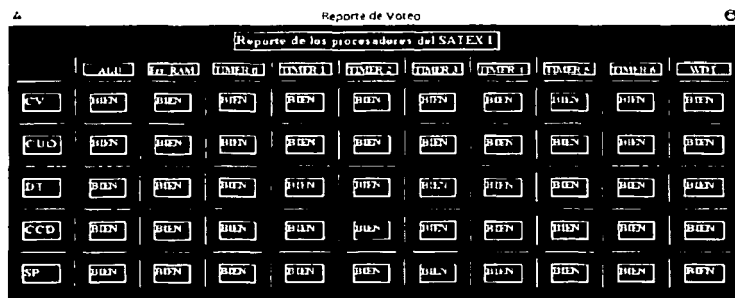


Figura 4.27 b)



Figuras 4.27 c)

Las figuras 4.27 Reportan el resultados del experimento MACV.

4.7 Validación funcional del experimento de captura de imágenes

En el punto 4.3 se habló de las características del comando de adquisición de imagen por enviar, la trama del comando contiene las siguientes características: la imagen será capturada en la orbita número 3, a los 45 segundos del octavo muestreo y se envió el parámetro para ser capturada con alta resolución.

La captura de imágenes se realiza de acuerdo con solicitudes transmitidas desde el SET, así como la transmisión de las mismas una vez que se encuentran en contacto microsatélite-Tierra, la validación se realiza con ayuda de SOFDEVO ya que cuenta con rutinas que simulan a la computadora de la CCD, así como la captura de la imagen y su transmisión.

Para realizar la simulación de la captura de la Imagen, en SOFDEVO se elige previamente la imagen que se desea capturar. En la figura 4.28 se muestra la ventana de SOFDEVO en donde se pueden cargar hasta 4 imágenes para simular la captura en el momento deseado. En esta pantalla se puede variar el tamaño de la imagen.

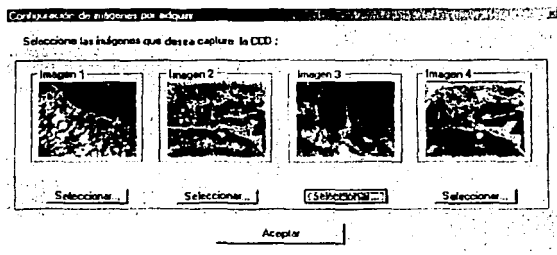


Figura 4.28 Captura de la imagen.

Cuando en la CV se cumple el tiempo programado para la captura de la imagen, la CV le solicita SP que encienda a la cámara CCD (simulada en SOFDEVO) por medio de un comando de red interna, así que se lleva a cabo la captura de la imagen dentro de m minutos y s segundos. En la figura 4.29 se observa cuando SOFDEVO recibe este comando y simula la captura abriendo esta ventana.

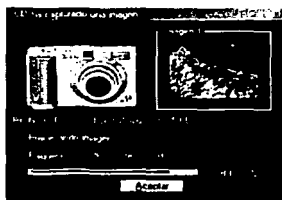


Figura 4.29 Ventana de SOFDEVO en donde se lleva a cabo la simulación de captura de imagen.

SOFDEVO también simula el envío de la imagen y lo realiza mediante la pantalla mostrada en la figura 4.30, así la imagen elegida se podrá transferir y visualizar con el SET como se aprecia en la figura 4.31.

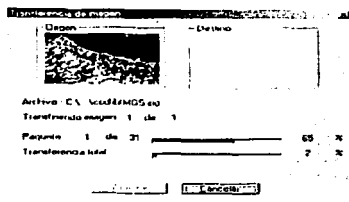


Figura 4.30 Transferencia de la imagen.

Capítulo 5

Interfaz operativa entre el SET y el sistema experto (SE) para el análisis de telemetría en línea y apoyo para la programación de misiones satelitales

5.1 Introducción

El profesor Edward Feigenbaum, de la Universidad de Stanford, pionero de los sistemas expertos (1960), define a los sistemas expertos como "un programa inteligente para computadoras que usan conocimiento y procedimientos de inferencia para resolver problemas que son suficientemente difíciles, que requieren de significativa *expertise* o experiencia humana para solucionarlos" [Feigenbaum, 1982]. Se entiende por *expertise* al amplio conocimiento, sobre una tarea específica, adquirido principalmente por la práctica, la lectura y la experiencia.

Como concepto de sistema experto, se entiende que la naturaleza de la materia prima con la que trabajan estos sistemas es el conocimiento, no de la información ni de los datos sin procesar, sino de la relación de la información; la idea es poder manejar un nivel más de abstracción en la solución de los problemas.

Estos niveles de abstracción o jerarquía del conocimiento los podemos visualizar en la figura 5.1 [Riley y Giarratano, 1998].

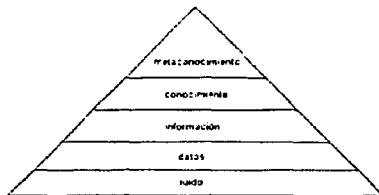


Figura 5.1 Jerarquía del conocimiento.

Los datos son elementos que no dicen algo por sí mismos, sino hasta que se les asocia un significado, es entonces cuando se transforman en información y cuando esta información se relaciona con otra, tenemos entonces el conocimiento. El metaconocimiento es conocimiento sobre el conocimiento; es algo similar a la sabiduría.

La figura 5.2 muestra la estructura general de un sistema experto.

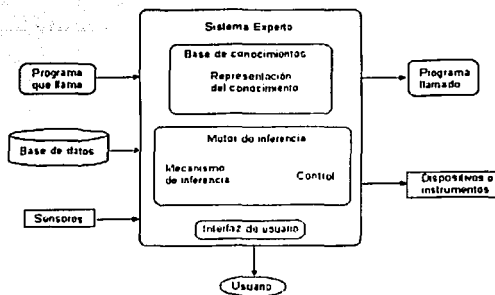


Figura 5.2 Jerarquía del conocimiento.

Este esquema es genérico e independiente de la tecnología con la que se implemente el sistema. No importa como se implementen los conceptos mostrados en la figura mientras lo estén, es decir, no importa como se represente el conocimiento lo importante es que se pueda representar y que además, se pueda procesar y generar nuevo conocimiento (proceso de inferencia) o bien que se pueda actualizar el existente y que se tenga un control de este proceso conforme a un criterio establecido.

Un sistema experto debe tener la capacidad de interactuar con el usuario de una manera natural y similar a como lo haría con un experto humano. Algunos sistemas tienen otros módulos dependiendo de su aplicación o su naturaleza, pero todos tienen este esquema general.

A manera de analogía, Wirth (el creador de Pascal) definió a un programa de cómputo con su sencilla ecuación:

Estructuras de datos + código = programa

Algunos autores definen a un sistema experto como:

Información + inferencia = sistema experto

La inferencia sería para la máquina lo que para los humanos es el razonamiento. Es el mecanismo que permite generar nuevo conocimiento en función del conocimiento previo. Las máquinas no pueden razonar, al menos no en la forma en que lo hacen los humanos, pero si pueden realizar inferencias, éstas inferencias están modeladas por la lógica matemática.

Muchos sistemas expertos están basados en reglas, algunos otros usan otra representación del conocimiento como el paradigma orientado a objetos, marcos (*frames*, en inglés), redes semánticas, o bien, usando otros métodos de inferencia como los árboles de decisión y los espacios de estados. Los sistemas expertos son una parte de la Inteligencia Artificial, junto con la robótica, el procesamiento natural del lenguaje, las redes neuronales artificiales.

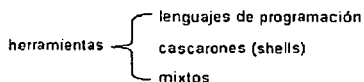
Los sistemas expertos, en particular, tienen una gran aplicabilidad en la industria, por lo que muchos de sus puntos fuertes que le ayudaron a florecer a esta rama fueron aplicaciones en las que permitieron ahorros o generaron ingresos además de regresar la inversión de su desarrollo.

La característica que distingue a los sistemas expertos es la misma que los compromete. El precio que se paga por la amplia *expertise* de estos sistemas, al grado de competir con los mejores expertos humanos, es la reducción en su área de aplicación. No todos los problemas son factibles a ser resueltos mediante un sistema experto. Hay cierto tipo de problemas que se pliegan muy bien a la manera en que los sistemas expertos solucionan los problemas, pero otros no tanto.

En la siguiente lista [LIBRO AMARILLO] se muestran las áreas de aplicación típica de los sistemas expertos:

Categoría	Tipo de problema
Interpretación	Inferir la interpretación de situación a partir de observación
Predicción	Inferir las consecuencias más probables a partir de una situación determinada
Diagnóstico	Inferencia de un mal funcionamiento de un sistema a partir de observaciones
Monitoreo	Comparación de observaciones con lo esperado, resaltando las diferencias
Reparación	Ejecutar un plan para administrar un remedio prescrito
Control	Todo lo anterior...

Las herramientas para desarrollar un sistema experto son las siguientes:



Adicionalmente se cuenta con entornos integrados de desarrollo que permiten una mayor eficiencia en la codificación de los sistemas expertos.

Si a un sistema experto funcionando se le quitan sus reglas y sus hechos con los que trabaja y se le deja la funcionalidad de representación de conocimiento (el motor de inferencia) y sus distintos módulos operativos lo que queda es un cascarón (shell), un esqueleto, una estructura de un sistema experto en el que sólo hay que agregarle las reglas de interés, establecer el conocimiento en el formato establecido y listo; se tiene un sistema experto.

No es necesario el desarrollo de la máquina de inferencia, puesto que ya estaba codificado; sólo se sustituye el conocimiento. Estos cascarones permiten desarrollar sistemas expertos en un menor tiempo y con un menor esfuerzo.

El compromiso reside en que el nuevo sistema experto deba de tener las mismas funcionalidades que el cascarón ofrece, es decir, no son fácilmente extensibles, en cuanto a su funcionalidad.

Intuitivamente, una herramienta mixta no es tan poderosa como un lenguaje de programación y tampoco su tiempo de desarrollo es equiparable al de un cascarón; pero sí agiliza el desarrollo del sistema, más que un lenguaje de programación y es más flexible que un cascarón, por lo que los hace una opción interesante. La herramienta de desarrollo depende de los requerimientos del sistema.

5.2 Intercambio de datos de telemetría entre el SET y SE por medio de una base de datos (BD)

Como medio de apoyo para el análisis de la telemetría y durante la fase de preparación de misiones, se pretende que el SET cuente con el apoyo de un SE, el cual tomará la información de las bases de datos del SET, es decir el proceso es: el SET recibe la información de TLMN o de TLME y almacena la información en las bases de datos, después el sistema experto toma la información recibida y realiza el análisis de los datos recibidos para que al final envíe los reportes formados. El sistema experto tomará en cuenta los sensores de voltaje, corriente y temperatura lo que da un total de 48 sensores que serán analizados.

Los esquemas que se muestran a continuación muestran las tablas que contienen las bases de datos mencionadas.

TLMN : Tabla												
id prog	Orbita	Muestreo	sensor 0	sensor 1	sensor 2	sensor 3	sensor 4	sensor 5	sensor 6	sensor 7	sensor 8	sensor 9
1	0	1	245	411	542	545	552	564	243	412	544	540
2	0	2	245	411	542	545	551	564	243	412	544	546
3	0	3	245	448	593	591	607	627	243	458	596	529
4	0	4	260	475	664	657	663	748	245	473	652	664
5	0	5	260	475	647	649	657	752	245	479	642	645
6	0	6	263	477	661	664	671	776	245	473	679	661
7	0	7	263	472	661	653	659	735	245	473	646	649
8	0	8	263	477	660	653	659	731	245	469	645	648
9	0	9	543	245	743	745	749	773	531	245	734	736
10	0	10	245	400	642	643	551	503	245	411	542	545

Figura 5.3 a) Tabla de TLMN que utilizará el SE.

TLME : Tabla								
id	Orbita	Muestreo	No. sensores	Frecuencia	Sensores	Datos Mision	no_mision	fecha_eda
1	0	3	20	5	&(-.349;.0T)OZDZDZ		1	24/06/2003 10:47:20
30	1	8	20	0	&(+-.3475 0T)DWOLO		3	23/07/2003 17:10:07
(Autonumérico)	0	0	0	0			0	

Figura 5.3 b) Tabla de TLME que utilizará el SE.

El hecho de que sea a través de bases de datos la manera en que intercambian información los sistemas se debe que es más flexible esta interfaz.

De esta forma, sólo basta definir el tipo, significado y acceso de los datos dentro de las tablas para que los sistemas tengan la libertad de implementar sus funcionalidades de manera independiente, con la única condición de cumplir con el diseño de la base de datos.

El hecho de que se pueda acceder a la base de datos a través del control ODBC (es otra capa de software adicional que permite una mayor flexibilidad y extensibilidad del código del sistema experto) implica que no se requiere mover ni una sola línea de código del sistema experto si es que en un futuro se deseara cambiar el manejo de la base de datos de Access a Oracle, Informix, Sybase, MS SQL Server, MySQL, etc.

Basta con que se configure el ODBC para que trabaje con la base datos de manera directa.

La figura 5.4 muestra el concepto:

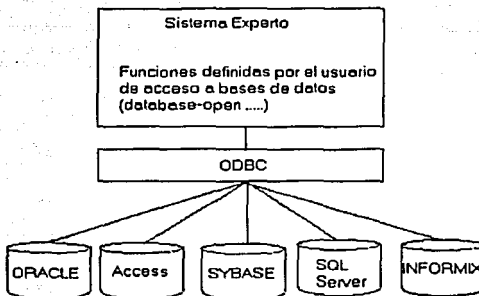


Figura 5.4 Funcionamiento del ODBC.

5.3 Requerimientos del sistema

Como resultado de un análisis detallado se han identificado algunos puntos como requerimientos que el sistema experto debe de cumplir.

1. Se requiere un poco de "Inteligencia" para relacionar de manera adecuada los valores recibidos por la telemetría y asociarlos a situaciones anómalas y en función de eso hacer recomendaciones y/o enviar alarmas.
2. Se debe de tener una interfaz gráfica, sencilla y fácil de usar.
3. Se debe de tener la capacidad de manejar varios mensajes, debido a que estos pueden deberse a una gran cantidad de orígenes y varios de estos al mismo tiempo.
4. Estos mensajes deben de estar expresados en términos familiares al usuario.
5. Estas recomendaciones deben de poder mostrarse al usuario mediante una pantalla tal que permita la interacción con estos a fin de explicar el origen del mensaje.
6. Debe haber una distinción entre mensajes de advertencia, alerta o comentarios en general.
7. Debe de existir prioridad en los casos a ser tratados. Habrán situaciones más importantes que urge su resolución sobre otras que pueden esperar.
8. Se requiere la capacidad de trabajar con bases de datos de distintos tipos.
9. Es necesaria la capacidad de trabajar en ambientes de red local.

10. La velocidad de procesamiento es importante debido a los cortos tiempos de avistamiento de que se dispone.
11. Se requiere que el sistema pueda ejecutarse de manera independiente al resto de los sistemas que conforman el segmento terrestre, exceptuando el SET. Cualquier otro software conectado a la red no debe de interferir.
12. Se debe tener la facilidad de reconfiguración, es decir, debe de ser lo más paramétrico posible con el fin de aumentar la flexibilidad del sistema.
13. El diseño del sistema debe de ser modular a fin de que puede ser extensible a nuevas funciones que puedan satisfacer requerimientos posteriores.
14. Se debe considerar que el conocimiento que se está codificando es conocimiento teórico, por lo que es muy probable que se tenga que actualizar el sistema; el sistema debe de permitir tal actualización.
15. El sistema debe de permitir el funcionamiento del resto de los sistemas de software del segmento terrestre aunque el sistema no esté en uso.
16. Debe de ser capaz de funcionar sin intervención humana por periodos prolongados de tiempo.
17. Se deben de utilizar herramientas compatibles con los sistemas ya existentes, como sistemas operativos, bases de datos, protocolos de red. Y no generar cambios mayores a los sistemas ya desarrollados previamente a la incorporación del sistema experto.

Actualmente el software de estación terrena permite visualizar la telemetría en forma de gráficas a petición del usuario. Sin embargo, no se lleva a cabo ningún tipo de análisis.

Este análisis se realiza de manera manual y por simple Inspección de una o varias gráficas (una gráfica por sensor) por parte del usuario. Este aspecto visual es importante y rápido para detectar situaciones extremas en las lecturas, pero es necesaria la presencia del experto que sepa interpretar las gráficas cada vez que se reciba telemetría.

Con la introducción del sistema experto se pretende complementar este esquema visual mediante el análisis automático de la telemetría. Así, el sistema experto puede reconocer una situación anómala y avisarle al personal de Tierra para que este pueda corroborarlo mediante las explicaciones que el mismo sistema experto provee o bien mediante las gráficas que proporciona el software de estación terrena.

Uno de los puntos establece que se debe de modificar lo menos posible los sistemas de software que ya existen. En particular, el software de estación terrena, que ya se encuentra en etapas de validación y pruebas. Este software ya está probado hasta cierto punto y no es deseable modificar su diseño para adaptarle el sistema experto arriesgando con eso la integridad del sistema. Es por esto, que se requiere incorporar el sistema experto al segmento terrestre como un sistema adicional.

5.4 Entorno funcional del sistema experto

El sistema experto se concibió como un sistema de software adicional a los desarrollos existentes, es decir, será un programa de cómputo que se ejecutará en una computadora independiente del SET.

El software de estación terrena, el sistema experto y otros equipos que se puedan agregar al centro de control se comunicarán mediante una RAL a través de la cual intercambiarán datos para que puedan trabajar de manera conjunta.

Esto se planteó así en función del requerimiento de no alterar demasiado o hacer cambios significativos a los sistemas ya codificados y en etapa de prueba como lo es el software de estación terrena. Además, con este esquema, se permite el uso y monitoreo del microsatélite incluso si el sistema experto llegara a estar fuera de operación por alguna situación como la actualización de la base de conocimientos que requiera que el sistema experto se reinicie o alguna otra adecuación que requiera de la baja temporal del sistema.

El siguiente esquema muestra la idea de la red:

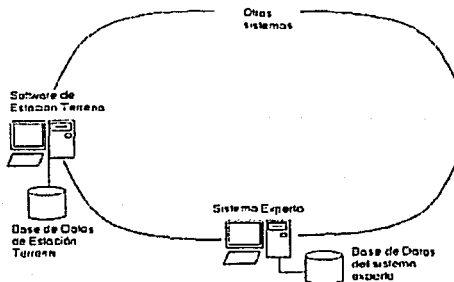


Figura 5.4 Esquema de la red.

De este esquema se puede ver que cada equipo cuenta con una base de datos local con la cual trabaja cada sistema. Sin embargo, el sistema experto requiere de la telemetría, las misiones y comandos a ser transmitidos al satélite que se encuentran en la base de datos del software de estación terrena.

La información que requiere el sistema experto para su funcionamiento la obtiene a través del manejador de base de datos ODBC. Éste se configura para que pueda acceder a las bases de datos distribuidas en todos los equipos. Este esquema también permite compartir la información entre todos los sistemas que estén conectados a la red.

5.4 Interfaz entre el sistema experto y el software de estación terrena

La manera en que el sistema experto y la estación terrena intercambian la información se lleva a cabo mediante el uso de la base de datos. Esta base de datos permite que el sistema experto acceda a los valores de telemetría que el software de estación terrena almacena en su base de datos.

De manera recíproca, el SET podrá acceder a cualquier dato que se almacena en la base de datos del SE. El SE funcionará a petición del SET.

Esta petición se basa en el poleo constante, por parte del sistema experto, de banderas que el software de estación terrena activará cada vez que ocurra un evento que requiera de los servicios del sistema experto.

Estos eventos son la llegada de nueva telemetría, lo que indica un nuevo avistamiento y la captura de misiones o comandos, a ser programados en futuros avistamientos, por parte de los usuarios; estos comandos serán validados por el sistema experto.

Capítulo 6

Certificación funcional del software de estación terrena

6.1 Introducción

Con la culminación de algunos sistemas del microsatélite se puede agilizar la terminación del resto de los sistemas que aún no están terminados en otras instituciones. Los principales sistemas del microsatélite son los que conforman la plataforma operativa: la computadora de vuelo, el sistema de potencia, los equipos de comunicaciones y la estructura. No obstante, una vez terminados y ensamblados juntos estos los dos primeros sistemas se pueden llevar a cabo pruebas reales con las distintas cargas útiles.

Particularmente la mayor parte de las operaciones que se pueden programar en el vehículo espacial (en la computadora de vuelo) se han supervisado y se han certificado en el laboratorio por medio de la red de área local (RAL) y con la ayuda del software SOFDEVO.

Por estas razones el grupo de trabajo del Instituto de Ingeniería de la UNAM redobó esfuerzos para concluir la computadora de vuelo, la electrónica de sensores, el software de operaciones de la CV y el software de estación terrena. De este modo, una vez ensamblada la computadora de vuelo, se procedió a realizar la certificación del software de estación terrena, dos herramientas necesarias para certificar el SET son: el simulador del satélite (SIMSAT) y el software de depuración y validación operativa.

Por otro lado se tiene estimado que el satélite recorra una órbita en 100 minutos, sin embargo, para realizar las pruebas de certificación estos tiempos se encuentran escalados, por lo que para propósitos de prueba una órbita la recorre aproximadamente en 27 minutos. Hasta ahora no se han realizado pruebas en tiempo real ya que por el momento no se cuenta con las cargas útiles que estarán dentro del microsatélite.

A manera de certificación en el presente capítulo se expone la planeación de una misión satelital en donde se simulen las distintas fallas que se pueden presentar una vez orbitado el SATEX, adicionalmente, se habla de las herramientas que se utilizarán para certificar el funcionamiento del SET.

6.2 Pruebas de certificación para el envío de comandos y misiones al microsatélite

Para certificar el envío de comandos de misión se utiliza el software SOFDEVO, es decir, el SET forma los comandos de misión utilizando su ayudante y los transmite a la computadora de vuelo del satélite, una vez que ésta los captura, envía en unos casos avisos automáticos dirigidos a la red interna y en otros simplemente retransmite el comando al equipo al que va dirigido. Estos avisos y/o comandos son interceptados por SOFDEVO para visualizarlos amigablemente.

En la figura 6.1 se observa el tipo de mensajes que envía SOFDEVO, el mensaje mostrado indica que la computadora de vuelo recibió el comando de misión número 12, con el cual programa a la computadora de vuelo para que ejecute el comando de misión de adquisición de telemetría especial.

```
1><R><R>2F.13.50.C.1,41,41,41,41,41,41,88
1><R>[Cmd 13.1] CP avisa a sofdevo que ha ejecutado el comando 12[Línea]
1><R>Programación de TlME
```

Figura 6.1 Mensajes generados por SOFDEVO al detectar el comando de adquisición de TLME.

El comando de adquisición de TLME que interceptó SOFDEVO contiene las siguientes características:

- La información será capturada en la órbita cero, dentro del cuarto muestreo.
- Solicita información de 19 sensores.
- La frecuencia de muestreo de los sensores será de 4 khz.

Adicionalmente la misión enviada desde el software de estación terrena contendrá los comandos: 6, 7 y 8. El comando de misión número 7 (adquisición de telemetría normal) tendrá las siguientes características:

- La captura de información se realizará en las primeras 5 órbitas (durante la recopilación de la información se simularán fallas en las distintas computadoras utilizando el software SOFDEVO).
- La programación del experimento de voteo se realizará solo en 2 órbitas, cuando los contadores de órbitas marquen la órbita 1 y la órbita 2.

La figura 6.2 muestra los mensajes enviados por el software SOFDEVO cuando la computadora de vuelo recibe los comandos de misión de adquisición de telemetría normal (comando 7) y de la programación del experimento de voteo (comando 8). En la figura se observa el mensaje que indica que la computadora de vuelo iniciará la ejecución de los comandos recibidos.

```
1><P><R>2F.13.50.B.1,41,41,41,41,41,41,8C
1><P>[Cmd 13.1] CP avisa a sofdevo que ha ejecutado el comando 8[Línea]
1><P>Programación de diagnóstico por Voteo

2><P><R>2F.13.50.7.1,41,41,41,41,41,41,8D
2><P>[Cmd 13.1] CP avisa a sofdevo que ha ejecutado el comando 7[Línea]
2><P>Programación de adquisición de TlMN
```

Figura 6.2 Mensajes generados por SOFDEVO durante la programación de los comandos de TLMN y Voteo.

La figura 6.3 muestra el cuadro llamado "Estado de órbitas de TLMN", ubicado en la pantalla principal de SOFDEVO, con este objeto se puede certificar cuantas órbitas fueron programadas dentro del comando de misión número 7, también indica cuantas órbitas se encuentran listas y empaquetadas para ser enviadas a Tierra, el número total de órbitas adquiridas, el inicio de la órbita en la cual la computadora de vuelo empezará a recolectar la información y el número de órbitas que se van adquirir en esta misión.

En la figura 6.1 se observa el tipo de mensajes que envía SÓFDEVO, el mensaje mostrado indica que la computadora de vuelo recibió el comando de misión número 12, con el cual programa a la computadora de vuelo para que ejecute el comando de misión de adquisición de telemetría especial.

```
1><R><Rw>2F.13.50.C.1.41.41.41.41.41.41.88
1><R><Cmd 13.1>CP avisa a sofdevo que ha ejecutado el comando 12[Línea]
1><R>Programación de TLME
```

Figura 6.1 Mensajes generados por SÓFDEVO al detectar el comando de adquisición de TLME.

El comando de adquisición de TLME que interceptó SÓFDEVO contiene las siguientes características:

- La información será capturada en la orbita cero, dentro del cuarto muestreo.
- Solicita información de 19 sensores.
- La frecuencia de muestreo de los sensores será de 4 kHz.

Adicionalmente la misión enviada desde el software de estación terrena contendrá los comandos: 6, 7 y 8. El comando de misión número 7 (adquisición de telemetría normal) tendrá las siguientes características:

- La captura de información se realizará en las primeras 5 orbitas (durante la recopilación de la información se simularán fallas en las distintas computadoras utilizando el software SÓFDEVO).
- La programación del experimento de voto se realizará solo en 2 orbitas, cuando los contadores de orbitas marquen la orbita 1 y la orbita 2.

La figura 6.2 muestra los mensajes enviados por el software SÓFDEVO cuando la computadora de vuelo recibe los comandos de misión de adquisición de telemetría normal (comando 7) y de la programación del experimento de voto (comando 8). En la figura se observa el mensaje que indica que la computadora de vuelo iniciará la ejecución de los comandos recibidos.

```
1><P><Rw>2F.13.50.8.1.41.41.41.41.41.41.8C
1><P><Cmd 13.1>CP avisa a sofdevo que ha ejecutado el comando 8[Línea]
1><P>Programación de diagnóstico por Voto

2><P><Rw>2F.13.50.7.1.41.41.41.41.41.41.8D
2><P><Cmd 13.1>CP avisa a sofdevo que ha ejecutado el comando 7[Línea]
2><P>Programación de adquisición de TlMn
```

Figura 6.2 Mensajes generados por SÓFDEVO durante la programación de los comandos de TLMN y Voto.

La figura 6.3 muestra el cuadro llamado "Estado de orbitas de TLMN", ubicado en la pantalla principal de SÓFDEVO, con este objeto se puede certificar cuántas orbitas fueron programadas dentro del comando de misión número 7, también indica cuántas orbitas se encuentran listas y empaquetadas para ser enviadas a Tierra, el número total de orbitas adquiridas, el inicio de la orbita en la cual la computadora de vuelo empezará a recolectar la información y el número de orbitas que se van adquirir en esta misión.

Estado de órbitas de TLMN			
Prog.:	5	Inicio Adq.:	0
Por adquirir:	5	Últimas baladas:	0
Listas:	0	Por bajar:	5
Totales baladas:	0		

Figura 6.3 Información generada por SOfDEVO acerca del comando de TLMN programado.

La misión enviada desde el SET contiene adicionalmente el comando de misión número 6 que corresponde a la adquisición de una imagen. La trama del comando que se envió contiene la siguiente información:

- La captura de la imagen se realizará a los 110 minutos y cero segundos, es decir cuando los contadores del software de la computadora de vuelo se encuentren en el primer muestreo de la orbita 1 (la orbita inicial es la número 0), justo en ese momento SOfDEVO simulará a la cámara CCD.
- La imagen será capturada con alta resolución.

La figura 6.4 muestra el mensaje enviado por SOfDEVO cuando recibe el comando de adquisición imagen, SOfDEVO simula a la CCD y puede capturar hasta 4 imágenes que podrá transmitir a la computadora de vuelo para que ésta las almacene en su memoria y después las pueda enviar al SET en el siguiente avistamiento, en el presente capítulo se hablará de la captura de la imagen.

```

1><R><R>ZF.2E.50.11.0.0.41.41.41.E.41.2D
1><R>CV ha informado a Seldevo sobre la configuración de la toma de las 2 primeras imágenes
2><R><R>ZF.2E.50.41.41.41.41.41.41.11.41.2B
2><R>CV ha informado a Seldevo sobre la configuración de la toma de las 2 últimas imágenes
  
```

Figura 6.4 Programación de imagen.

6.3 Pruebas de certificación para el almacenamiento de telemetría satelital

En la figura 6.5 se observan los mensajes enviados por SOfDEVO que indican que ha interceptado el comando número 23 y el comando número 10 que fueron enviados a la computadora de vuelo. En el momento en que la CV ejecuta el comando 23 se sabe que se encuentran en línea de vista el microsatélite y Tierra, y por medio del comando 10 se le indica a la CV que envíe información capturada de telemetría a Tierra. Cuando la computadora de vuelo termina de enviar la información que tenía almacenada, por medio de SOfDEVO indica que terminó el ciclo de envío de los datos almacenados.

```

1><P><R>ZF.13.50.17.1.41.41.41.41.41.41.7D
1><P><[Cmd 13.1] CP avisa a seldevo que ha ejecutado el comando 23[Línea]
1><P>ET ha contactado a Sals
2><P><R>ZF.13.50.A.1.41.41.41.41.41.41.41.8A
2><P><[Cmd 13.1] CP avisa a seldevo que ha ejecutado el comando 10[Línea]
2><P>Besa información capturada
3><P><R>ZF.11.60.41.41.41.41.41.41.41.41.15
3><P><[Cmd 11.1] CP avisa a Seldevo que envió TLMN de 1 orbita a ET
4><P><R>ZF.2C.50.1.0.1.0.0.1.0.1.53.2D
4><P>Ya sako del loop de envio
  
```

Figura 6.5 SOfDEVO avisa que la CV envió telemetría a Tierra.

Cuando el SET captura y almacena la información de las distintas telemetrías (recopiladas por la computadora de vuelo) se puede acceder a la base de datos para analizar la información recibida.

La figura 6.6 presenta la base de datos donde se almacena la información de TLMc:

TMc: Tabla

id	Orbita	Muestreo	No sensores	Frecuencia	Sensores	Datos Misión	no_mision	fecha_adj
1	0	4	20	5	MS(-349); GTJ03030Y			24/06/2003 10:47:20
2	30	0	0	19	3 & (-347); OT03030W			3 23/07/2003 17:10:07
(Autonumérico)	0	0	0	0				

Registro: 14 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | de 2

Figura 6.6 Acceso a la base de datos en el SET.

Las figura 6.7 a, b, c y d presentan las tablas de telemetría normal, en la figura 6.7 a) se observa la información de las primeras 2 orbitas completas (orbita 0 y orbita 1), y los 5 muestreos de la siguiente orbita (orbita 2), se observan los resultados de las muestras obtenidas para los primeros 9 sensores. La figura 6.7 b) muestra el complemento de la tabla que se encuentra en la figura 6.7 a), es decir se observa el valor de las muestras obtenidas para los últimos sensores (sensor 56 al sensor 64), los valores proporcionados para estos sensores fueron simulados por SOFDEVO, ya que SOFDEVO simula al sistema de potencia y las muestras corresponden a señales: triangulares, cuadradas y senoidales. También se observa el número de misión, la fecha y la hora de la adquisición de la TLMN, esta prueba se realizó el día 23 de junio a las 3:11 p.m. En la figura 6.7 c) se observa la información de las últimas 2 orbitas completas (orbita 3 y 4), y los últimos 5 muestreos de la orbita 2. De la misma forma se observan los resultados de las muestras obtenidas para los primeros 9 sensores, que se encuentran dentro de la CV. La figura 6.7 d) presenta la información complementaria de la figura 6.7 c).

TLMN Tabla

id	Orbita	Muestra	sensor_0	sensor_1	sensor_2	sensor_3	sensor_4	sensor_5	sensor_6	sensor_7	sensor_8	sensor_9
111	0	2	400	400	524	527	524	548	401	470	530	529
112	0	3	457	450	550	553	553	614	442	542	448	574
113	0	4	495	484	649	647	653	744	404	435	646	643
114	0	5	491	479	641	639	643	749	475	471	676	624
116	0	6	499	485	666	664	663	700	207	407	662	651
117	0	7	481	479	642	639	645	750	479	491	670	624
118	0	8	481	479	642	641	645	759	475	491	677	629
119	0	9	544	543	737	737	759	754	520	421	728	726
120	0	10	399	390	531	529	527	549	393	393	531	529
121	1	1	449	449	590	587	584	615	440	440	587	595
122	1	2	403	400	534	537	534	548	401	403	530	529
123	1	3	450	450	589	587	583	614	440	448	591	594
124	1	4	493	493	641	641	662	743	483	485	644	643
125	1	5	431	479	641	639	640	749	479	491	630	624
126	1	6	498	487	656	653	659	759	485	487	662	650
127	1	7	492	481	643	641	647	753	481	482	637	636
120	1	8	493	479	642	641	646	752	479	491	637	635
129	1	9	545	543	737	735	739	752	529	530	720	727
130	1	10	399	398	531	531	536	649	399	399	532	529
131	1	1	449	449	588	586	582	614	449	448	581	584
132	2	2	433	403	529	531	534	548	401	401	530	529
133	2	3	420	449	529	527	523	614	449	449	526	526
134	2	4	495	484	649	647	653	744	484	485	645	644
136	2	5	481	479	642	642	646	749	479	482	646	634

Registro: 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | de 148

Figura 6.7 a) Tabla de información generada por el SET acerca de las primeras 9 muestras de sensores del SATX (primeras 2 orbitas y los 5 primeros muestreos de la orbita 2).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TLMM: Tabla

sensor 56	sensor 57	sensor 58	sensor 59	sensor 60	sensor 61	sensor 62	sensor 63	sensor 64	no. misión	Fecha de Adq.
120	120	120	120	120	7	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:26
120	120	120	120	120	8	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	5	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	1	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	0	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
130	120	120	120	120	2	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	3	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	133	4	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	0	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	1	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	9	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	2	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	8	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
120	120	120	120	120	8	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:27
88	0	88	0	00	0	88	0	120	6	23/06/2003 15:11:28
120	120	120	120	120	3	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:28
120	120	120	120	120	3	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:28
120	120	120	120	120	6	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:28
120	120	120	120	120	6	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:28
120	120	120	120	120	1	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:28
120	120	120	120	120	7	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:28
120	120	120	120	120	3	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:28
120	120	120	120	120	2	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:28

Reporte: [1] [2] [3] de 10

Figura 6.7 b) Tabla de información de las últimas 9 muestras de sensores del SATEX (primeras 2 orbitas y los 5 primeros muestreos de la orbita 2).

TLMM: Tabla

id prog TLMM	Orbita	Muestreo	sensor 0	sensor 1	sensor 2	sensor 3	sensor 4	sensor 5	sensor 6	sensor 7	sensor 8	sensor 9	
136	2	1	489	489	646	654	660	760	484	489	653	651	
137	2	2	7	481	479	642	643	546	750	477	421	636	635
138	2	3	8	401	479	642	641	647	753	479	481	637	635
140	2	4	9	543	543	737	736	734	754	529	530	729	727
140	2	5	10	399	399	531	529	530	549	399	399	531	529
141	3	1	450	449	588	637	592	614	449	448	596	584	
142	3	2	400	400	529	527	534	544	401	401	530	520	
143	3	3	450	450	569	597	593	614	449	448	596	586	
144	3	4	405	405	649	647	654	745	495	496	646	643	
145	3	5	401	479	542	542	638	743	479	481	639	634	
146	3	6	480	488	658	656	660	761	487	489	653	651	
147	3	7	481	480	642	640	646	752	479	481	636	635	
148	3	8	481	480	643	641	647	753	480	482	637	635	
149	3	9	545	543	737	736	738	754	529	530	728	727	
150	3	10	399	399	531	529	536	549	400	399	530	528	
151	4	1	450	449	588	637	593	614	449	448	596	584	
152	4	2	400	400	529	527	534	540	401	400	530	520	
153	4	3	451	450	589	587	593	614	449	449	596	586	
154	4	4	486	484	649	647	653	744	484	486	646	643	
155	4	5	481	479	642	639	646	749	479	482	636	634	
156	4	6	480	488	656	655	660	760	487	488	653	651	
157	4	7	481	479	642	643	646	751	479	482	636	635	
158	4	8	481	480	643	641	647	753	479	481	637	635	
159	4	9	545	543	737	736	738	754	529	530	728	727	
160	4	10	399	398	531	529	536	549	399	399	531	529	

Reporte: [1] [2] [3] de 10

Figura 6.7 c) Tabla de información de las primeras 9 muestras de sensores del SATEX (últimas 2 orbitas y los 5 muestreos finales de la orbita 2).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TLME - Tabla

sensor 56	sensor 57	sensor 58	sensor 59	sensor 60	sensor 61	sensor 62	sensor 63	sensor 64	no. muest.	Fecha_04AQ
120	120	120	120	120	6	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	4	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	1	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	7	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	8	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	5	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	1	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	10	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	3	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	2	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	7	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	3	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	8	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	2	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	6	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	1	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	2	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	4	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	9	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	8	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	1	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	7	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20
120	120	120	120	120	7	120	120	120	6	23/06/2003 15:11:20

Figura 6.7 d) Tabla de información de las últimas 9 muestras de sensores del SATEX (últimas 2 orbitas y los 5 muestreos finales de la orbita 2).

6.4 Pruebas de certificación para el despliegue de telemetría especial y normal

La certificación de la recepción de información de TLME, se realiza utilizando el SIMSAT y SOFDEVO, dentro del SIMSAT se encuentran conectados 10 potenciómetros los cuales se alimentan con 5[V], para pruebas de certificación este voltaje se toma como el umbral máximo de los sensores. Las líneas de donde tomará las muestras el microprocesador de la computadora de vuelo están conectadas a estos potenciómetros. Para certificar la captura de estos datos, los potenciómetros se fijan en valores conocidos, es decir, algunos se calibraron a un valor máximo de 4.6 [V], otros a un valor intermedio de 2.5 [V] y los últimos se ajustaron en un valor muy pequeño de 0.3 [V] aproximadamente.

Cuando la computadora de vuelo recopila la información de TLME y la envía al SET, en éste se pueden observar las gráficas correspondientes para cada sensor y se presentan los siguientes resultados:

En la figura 6.8 se observa la gráfica del sensor de corriente SC TXVHF1, la grafica corresponde a una señal constante que tiene amplitud 78, es decir, el microprocesador de la computadora de vuelo realizó una medición para esta línea con un valor muy pequeño, los datos que se presentan en la figura son: orbita 0, muestreo 3 y a una frecuencia de adquisición de muestras de 4[kHz]. Con esto se certifica que los datos corresponden a la información enviada en la trama del comando de misión número 12 de adquisición de telemetría especial.

TRIS CON
 FALLA DE ORIGEN

La grafica de la figura 6.9 corresponde al sensor SFS.X1 y se observa una señal constante de la mitad del valor del umbral máximo del sensor (se observa un valor de 560) y la gráfica que aparece en la figura 6.10 corresponde a un valor casi al límite del umbral máximo del sensor (valor de 1022), esta gráfica le corresponde al sensor SFS.Y1.

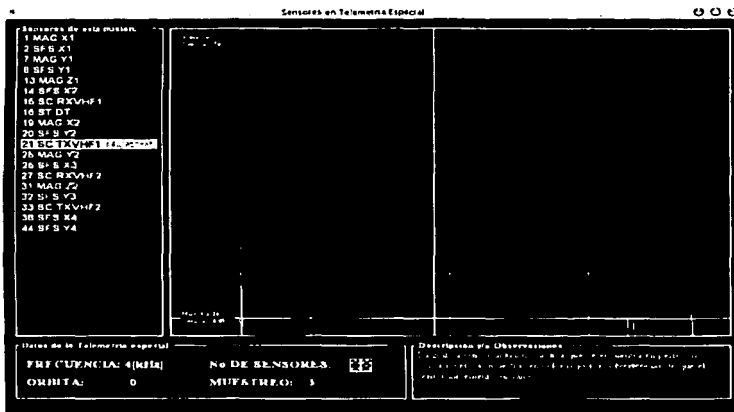


Figura 6.8 Gráfica generada por el SET acerca del sensor de corriente SC TXVHF1.

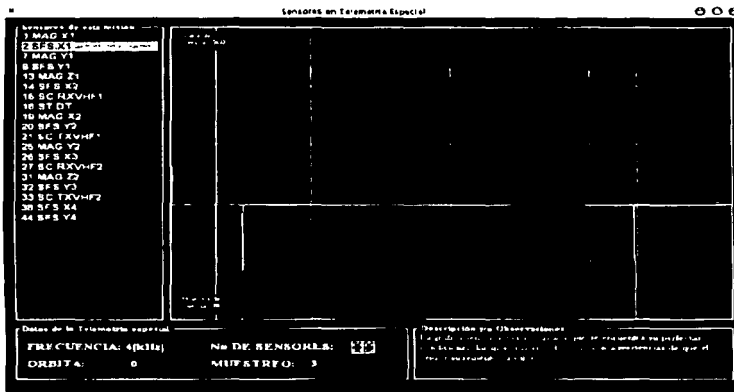
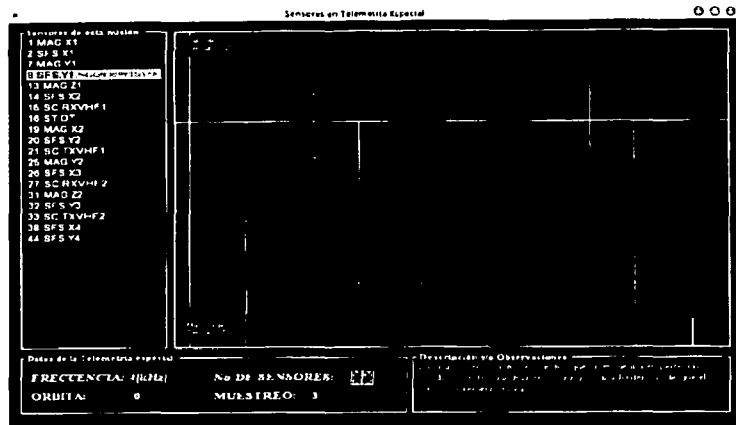
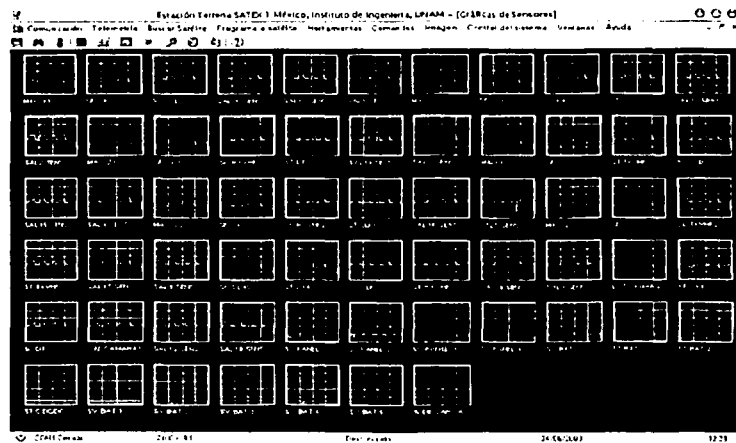


Figura 6.9 Gráfica generada por el SET acerca del sensor fino de sol SFS.X1.

TESIS COMPLETA
 FALLA DE CALIFICACION



La figura 6.11 presenta las gráficas de las muestras obtenidas para 62 sensores de TLMN.



TESIS CON
 VALLE DE ORIGEN

En las figuras 6.12 a) y 6.12 b) se presentan ampliaciones de las gráficas que se encuentran en la pantalla de la figura 6.11, en la figura 6.12 a) se grafican los valores que certifican los datos de la señal senoidal enviada por el software SOFDEVO que corresponden al sensor de corriente del panel solar 4 y en la figura 6.12 b) se observa la gráfica del sensor de temperatura del panel solar 2.

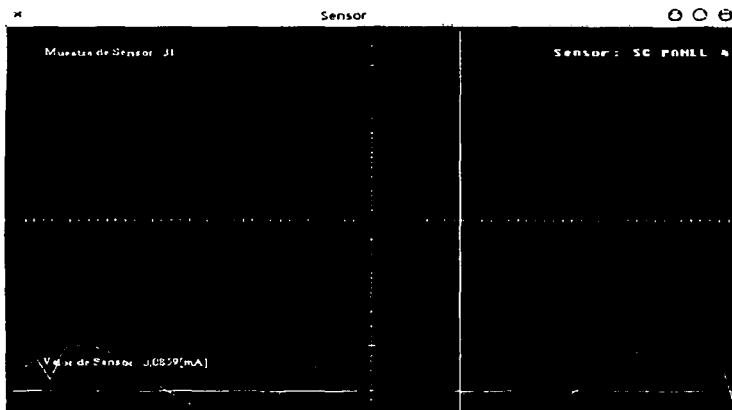


Figura 6.12 a) Gráfica del sensor de corriente del panel solar 4.

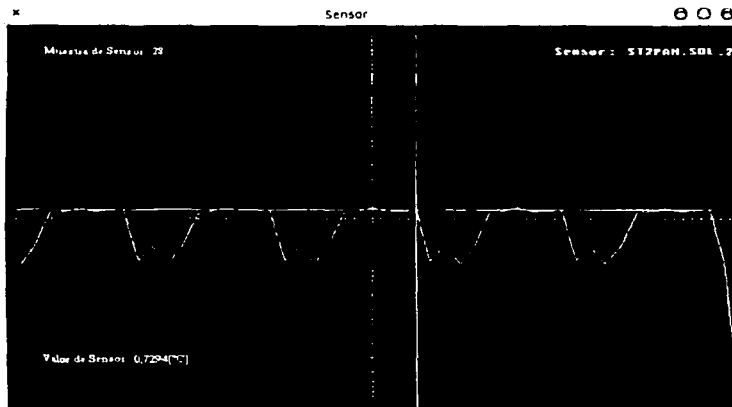


Figura 6.12 b) Gráfica del sensor de temperatura del panel solar 2.

En la figura 6.13 se observan las muestras obtenidas para los 62 sensores de TLMN, los valores que se aprecian corresponden a las muestras que se obtuvieron dentro de la órbita 2 y el muestreo 5, esta pantalla es utilizada para certificar los valores obtenidos por las muestras de los sensores y para visualizar los resultados de TLMN.

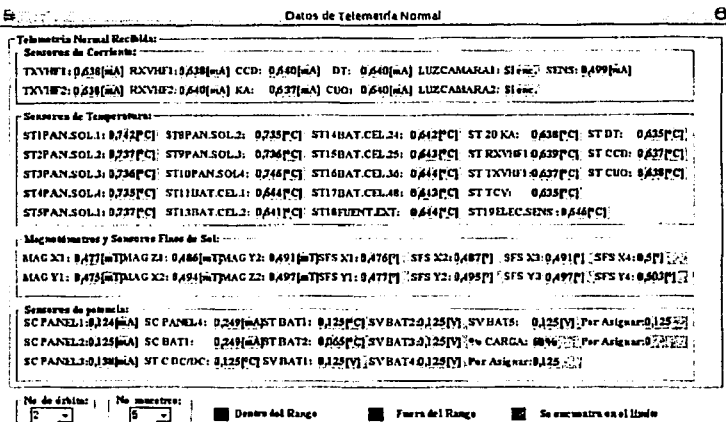


Figura 6.13 Datos generados por el SET acerca de los sensores del SATEX.

6.5 Pruebas de certificación para la detección de fallas en equipos satelitales por medio de telemetría

En el momento en que la computadora de vuelo se encuentra recopilando información del diagnóstico de equipos (este proceso se observa en la pantalla principal de SOFDEVO) se puede realizar la simulación de fallas en cualquiera de las computadoras del satélite, tanto en la memoria RAM como en el síndrome de los microprocesadores.

Cuando se programa la falla en la pantalla principal de SOFDEVO dentro del cuadro llamado "Fallas prog: CPU RAM" se enciende un foco el cual indica que existe una falla dentro de la carga correspondiente.

Las fallas que se simulan en SOFDEVO se introducen cambiando el valor simulado del valor de diagnóstico, es decir, tiene que ser diferentes estos dos valores, lo mismo sucede con el síndrome.

La figura 6.14 muestra el objeto utilizado en SOFDEVO para simular una falla dentro de la memoria RAM de la carga útil óptica. Esta falla fue programada en la primer órbita dentro del cuarto muestreo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fallas prog. CPU RAM	
CV	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CUO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
DT	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CCD	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
SP	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Configuración del diagnóstico en: <input type="text" value="CUO"/>	
Valores de diagnóstico correcto (valores decimales)	
Valor de síndrome del CPU :	<input type="text" value="0"/> Síndrome simulado del CPU : <input type="text" value="0"/>
No hay falla en síndrome : <input type="text" value="5"/>	
Valor de diagnóstico de RAM :	<input type="text" value="255"/> Diagnóstico simulado de RAM : <input type="text" value="0"/>
Falla en RAM : <input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Aplicar cambios"/> <input type="button" value="Cancelar"/>	

Figura 6.14 Programando con SOfDEVO la simulación una de falla en RAM de la CUO.

Con objeto de que la falla se introduzca solo una vez, al final de cada muestreo se regresan los valores a su estado original para eliminar la falla simulada, es decir, se igualan el valor del diagnóstico con el valor simulado.

La figura 6.15 presenta el momento en el que se programa con SOfDEVO la simulación de la falla en el síndrome de la CUO, se le asigna el valor decimal número 2, esta falla se simuló en la orbita 0 de la misión programada, en la orbita corriente se realiza diagnóstico simple, esta falla fue programada en el octavo muestreo de la presente orbita.

Fallas prog. CPU RAM	
CV	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CUO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
DT	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CCD	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
SP	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Configuración del diagnóstico en: <input type="text" value="CUO"/>	
Valores de diagnóstico correcto (valores decimales)	
Valor de síndrome del CPU :	<input type="text" value="0"/> Síndrome simulado del CPU : <input type="text" value="2"/>
Falla en síndrome : <input checked="" type="checkbox"/>	
Valor de diagnóstico de RAM :	<input type="text" value="0"/> Diagnóstico simulado de RAM : <input type="text" value="0"/>
No hay falla en RAM : <input type="text" value="5"/>	
<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Aplicar cambios"/> <input type="button" value="Cancelar"/>	

Figura 6.15 Programando con SOfDEVO la simulación de una falla en el síndrome de CUO.

En la figura 6.16 a) se observa la simulación de una falla en la memoria RAM del sistema de potencia, esta falla se programa en el segundo muestreo de la orbita 1. En la figura 6.16 b) se observa el objeto donde se programa una falla en el síndrome del sistema de potencia. La falla en el síndrome se actualiza con el valor decimal número 4 y esta falla se programa durante el muestreo 8 de la primer orbita.

Las figuras 6.16 presentan la simulación de fallas con SOFDEVO para el sistema de potencia.

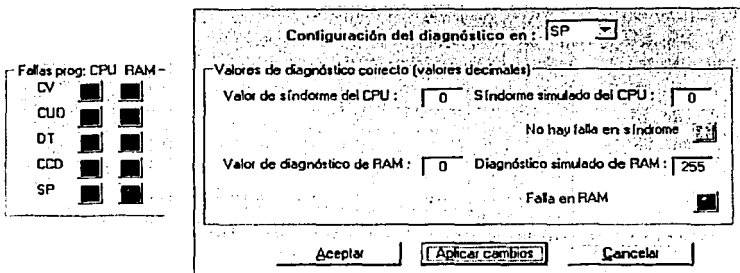


Figura 6.16 a) Programando con SOFDEVO la simulación una de falla en RAM de SP.

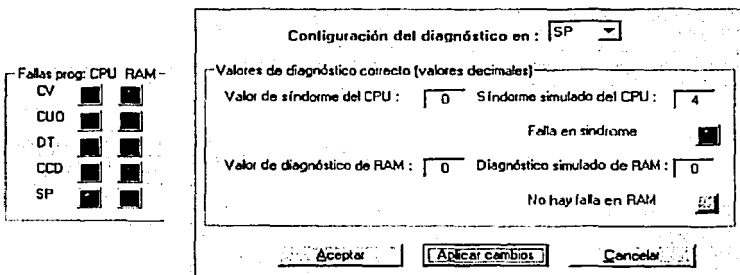


Figura 6.16 b) Programando con SOFDEVO la simulación una de falla en el síndrome de SP.

Para propósito de certificación, el experimento de voto se programó en la orbita 1 y en la orbita 2. La figura 6.17 presenta los resultados de la matriz de voto (generados por SOFDEVO) los cuales certifican la detección de la falla programada en el sistema de potencia y de igual forma certifican la correcta operación del proceso de voto mayoritario que utiliza el experimento MACV.

```

12><R****RESULTADO DE VOTEO EN CUO****
12><R****CV****CUO****DT****CCD****SP****
12><R****BIEN****BIEN****BIEN****No P****MAL
12><R****RESULTADO DE VOTEO EN DT****
12><R****CV****CUO****DT****CCD****SP****
12><R****BIEN****BIEN****BIEN****No P****MAL
12><R****RESULTADO DE VOTEO EN SP****
12><R****CV****CUO****DT****CCD****SP****
12><R****BIEN****BIEN****BIEN****No P****MAL
    
```

Figura 6.17 Resultados generados por SOFDEVO durante el proceso de voto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el transcurso de la segunda orbita se planea la simulación de fallas en la CCD (una falla en memoria RAM y otra en el síndrome del microprocesador), en la segunda orbita está programado el experimento de voto, la CCD solo participará en este experimento en el momento en que falle la CUO y no se pueda encender. Adicionalmente el software SOFDEVO se utiliza para simular la potencia disponible del SATEX para entonces proceder a encender equipos.

Para hacer que la CCD participe en el experimento de voto primero se programa al sistema de potencia para que no pueda encender a la CUO. La figura 6.18 presenta la pantalla utilizada en SOFDEVO que asigna la energía necesaria para encender a las cargas útiles. Se observa que con esta pantalla se esta simulando que el SP no cuenta con energía suficiente para encender a la CUO y de esta manera la cámara digital participará en el experimento de voto.

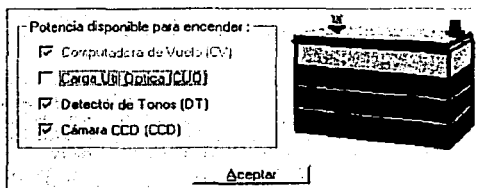


Figura 6.18 Simulación de falla para que no se encienda la CUO.

Logrando que la CCD participe en el experimento de voto, enseguida se le pueden simular fallas, primero se le programa una falla en el diagnóstico de RAM, esta falla se programó en el segundo muestreo de la orbita 2. La figura 6.19 presenta la simulación de falla en el diagnóstico de RAM de la CCD.

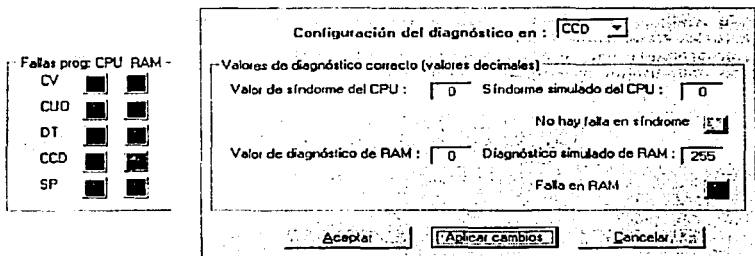


Figura 6.19 Programando con SOFDEVO la simulación de una falla en la RAM de la CCD.

La figura 6.20 presenta el momento en el cual se programó la falla en el síndrome del procesador de la carga CCD. Se mantiene la misma postura de no permitir que se encienda la CUO, por lo tanto, sigue participando la CCD en el experimento de voto mayoritario. El valor del síndrome simulado corresponde al valor decimal número 8.

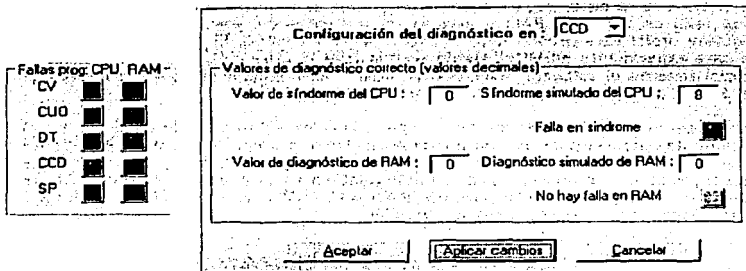


Figura 6.20 Programando con SOFDEVO la simulación de una falla en el síndrome de la CCD.

Una vez programadas las fallas, se procede a ejecutar el experimento MACV y a monitorearlo con SOFDEVO, en la figura 6.21 se presenta el resultado de la matriz de voto, donde se observa que las cargas que participaron en el experimento detectaron la falla programada en la CCD. La matriz certifica que la CUO no participó en el experimento y la CCD se encuentra en mal estado.

```

12> <R****RESULTADO DE VOTEO EN CCD****
12> <R**** CV **** CUO **** DT **** CCD **** SP ****
12> <R**** BIEN **** No P****BIEN****MAL ****BIEN
12> <R****RESULTADO DE VOTEO EN DT****
12> <R**** CV **** CUO **** DT **** CCD **** SP ****
12> <R**** BIEN **** No P****BIEN****MAL ****BIEN
12> <R****RESULTADO DE VOTEO EN SP****
12> <R**** CV **** CUO **** DT **** CCD **** SP ****
12> <R**** BIEN **** No P****BIEN****MAL ****BIEN
    
```

Figura 6.21 Resultados obtenidos para la matriz de voto.

En la órbita corriente (órbita 2) se realizó la simulación de fallas en la computadora de vuelo, estas fallas se pueden simular aun en presencia física de la CV. Primero se programó la falla en el diagnóstico de su memoria RAM durante el muestreo 7 de la segunda órbita. En la figura 6.22 se observa la simulación de la falla.

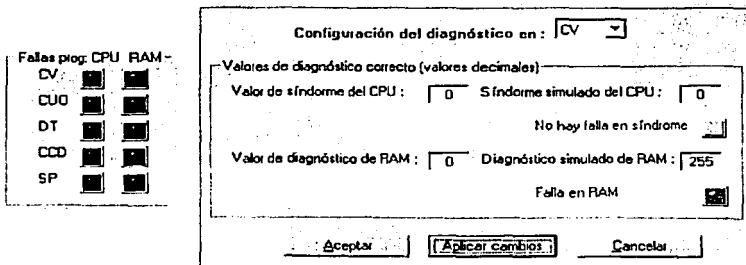


Figura 6.22 Simulación de falla en RAM de la CV.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la figura 6.23 se observa el momento donde se simuló una falla en el síndrome de la CV, se asignó el valor decimal número 16, la falla del síndrome de la computadora de vuelo se programó en el octavo muestreo dentro de la segunda orbita.

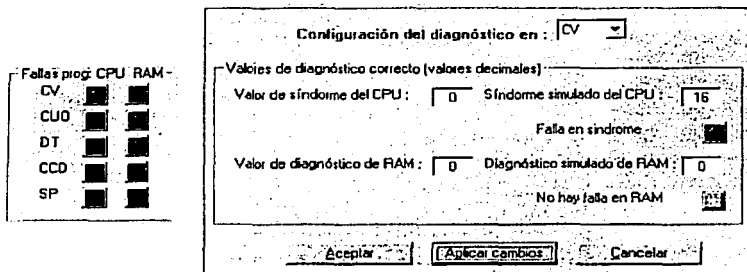


Figura 6.23 Simulación de falla en síndrome de la CV.

La figura 6.24 muestra el resultado de la matriz de voto en el cual se aprecia que la CV se encuentra en mal estado. Cuando esto sucede el detector de tonos tiene que conmutar el procesador utilizado en la computadora de vuelo.

```

12<P***RESULTADO DE VOTEO EN CUO***
12<P*****CV*****CUO*****DT*****CCD*****SP*****
12<P*****MAL*****BIEN*****BIEN*****No P*****BIEN
12<P***RESULTADO DE VOTEO EN DT***
12<P*****CV*****CUO*****DT*****CCD*****SP*****
12<P*****MAL*****BIEN*****BIEN*****No P*****BIEN
12<P***RESULTADO DE VOTEO EN SP***
12<P*****CV*****CUO*****DT*****CCD*****SP*****
12<P*****MAL*****BIEN*****BIEN*****No P*****BIEN

```

Figura 6.24 Resultado de la matriz de voto.

En la tercer orbita se programa una falla en el DT, lo cual forzará que la CV realice diagnóstico simple aunque se programe voto. Para ello se puede presentar el siguiente escenario:

- > La computadora de vuelo recopila información de telemetría normal y si en la orbita presente se programó el experimento de voto, cuando el detector de tonos presente una falla, dejará de realizar el experimento de voto y la computadora de vuelo realizará la adquisición de datos con diagnóstico simple entre cargas útiles. En vista de que el DT es la única computadora que cuenta con hardware para realizar mantenimiento a la CV, por este motivo si no se logra encender el DT no puede proseguir el experimento MACV y por tal motivo se realizará diagnóstico simple y no el experimento de voto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La figura 6.25 presenta la pantalla utilizada para simular una falla en el diagnóstico de RAM del DT. En la orbita corriente dentro del muestreo número 3 se simuló una falla en el diagnóstico de RAM del detector de tonos.

Fallas prog: CPU RAM-

CV

CUD

DT

CCD

SP

Configuración del diagnóstico en: DT

Valores de diagnóstico correcto (valores decimales)

Valor de síndrome del CPU: 0 Síndrome simulado del CPU: 0

No hay falla en síndrome

Valor de diagnóstico de RAM: 0 Diagnóstico simulado de RAM: 255

Falla en RAM

Aceptar Aplicar cambios Cancelar

Figura 6.25 Simulación de falla en RAM de DT.

La figura 6.26 presenta la simulación de una falla en el síndrome de DT, esta falla es programada en el muestreo 6 de la tercer orbita, se le asignó el número decimal 32 al síndrome del DT.

Fallas prog: CPU RAM-

CV

CUD

DT

CCD

SP

Configuración del diagnóstico en: DT

Valores de diagnóstico correcto (valores decimales)

Valor de síndrome del CPU: 0 Síndrome simulado del CPU: 32

Falla en síndrome

Valor de diagnóstico de RAM: 0 Diagnóstico simulado de RAM: 0

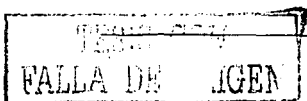
No hay falla en RAM

Aceptar Aplicar cambios Cancelar

Figura 6.26 Simulación de falla en síndrome de DT.

Estas fallas fueron programadas durante la ejecución del comando de misión número 7 de adquisición de telemetría normal, este comando contiene las características mencionadas en el punto 6.2 del presente capítulo.

El valor binario del número decimal simulado por SOFDEVO para los síndromes de las computadoras, contiene banderas de detección de fallas en algún Timer del microprocesador correspondiente a cada computadora, dentro del valor binario un "1" significa falla en algún Timer y el valor de "0" significa que no contiene falla el Timer correspondiente.



La tabla 6.27 contiene la síntesis de las fallas que se expusieron en las secciones anteriores, se considera que solo puede existir una falla a la vez, es por eso que solo se programó una falla por muestreo en cada una de las distintas computadoras.

Orbita	MUESTREO	FALLA	CARGA
0	4	RAM	CUO
0	7	SINDROME	CUO
1	2	RAM	SP
1	8	SINDROME	SP
2	2	RAM	CCD
2	3	SINDROME	CCD
2	7	RAM	CV
2	8	SINDROME	CV
3	4	RAM	DT
3	5	SINDROME	DT

Tabla 6.27 Fallas programadas en SOFTDEVO.

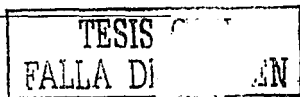
6.6 Pruebas de certificación para la captura de datos de equipos satelitales

Una vez simuladas las fallas que se pueden presentar durante la adquisición de telemetría normal, cuando se recibe en el software de estación terrena la información capturada por la CV, se pueden certificar los datos almacenados dentro de la base de datos del SET, posteriormente se pueden examinar las pantallas donde se encuentra el resultado del diagnóstico de los equipos del satélite, estas ventanas se encuentran en el SET.

La figura 6.28 a) muestra información de las orbitas 0 y 1 (Incluyendo 5 muestreos de la orbita 2) en los campos del 4 al 13 de la tabla de status, si aparece un valor diferente de 0 se detecta falla en la orbita y el muestreo correspondiente, para conocer el origen de la falla se puede consultar el capítulo 2 de la presente tesis.

Orbita	Muestreo	Falla en síndrome de CUO					Falla en diagnóstico de RAM de CUO					
		Status 1	Status 2	Status 3	Status 4	Status 5	Status 6	Status 7	Status 8	Status 9		
111	0	0	14	51	0	0	0	0	0	0	0	0
112	0	2	1	14	51	0	0	0	0	0	0	0
113	0	3	2	14	51	0	0	0	0	0	0	0
114	0	4	3	14	51	0	0	0	0	0	0	0
115	0	5	4	14	51	0	0	0	0	0	0	0
116	0	6	5	14	51	0	0	0	0	0	0	0
117	0	7	6	14	51	U	0	0	0	0	0	0
118	0	8	7	14	51	0	0	0	0	0	0	0
119	0	9	8	14	51	0	0	0	0	0	0	0
120	0	10	9	14	51	U	0	0	0	0	0	0
121	0	1	16	14	51	0	0	0	0	0	0	0
122	0	2	17	14	51	0	0	0	0	0	0	0
123	0	3	18	14	51	0	0	0	0	0	0	0
124	0	4	19	14	51	0	0	0	0	0	0	0
125	0	5	20	14	51	U	0	0	0	0	0	0
126	0	6	21	14	51	0	0	0	0	0	0	0
127	0	7	22	14	51	0	0	0	0	0	0	0
128	0	8	23	14	51	0	0	0	0	0	0	0
129	0	9	24	14	51	0	0	0	0	0	0	0
130	0	10	25	14	51	0	0	0	0	0	0	0
131	0	1	32	14	51	0	0	0	0	0	0	0
132	0	2	33	14	51	0	0	0	0	0	0	0
133	0	3	34	14	51	0	0	0	0	0	0	0
134	0	4	35	14	51	0	0	0	0	0	0	0
135	0	5	36	14	51	0	0	0	0	0	0	0

Figura 6.28 a) Tabla de diagnóstico de equipos del SATEX.



La figura 6.28 d) presenta el complemento de la figura 6.28 c).

Equipos	Status_10	Status_11	Status_12	Status_13	Status_14	Status_15	Status_16	Status_17	Status_18	Status_19	Fecha		
	0	0	0	0	254	0	170	170	10	32	6	23/04/2002 15 11	
	0	0	0	0	254	0	170	170	10	32	6	23/04/2002 15 11	
	0	0	0	0	254	0	170	170	10	32	6	23/04/2002 15 11	
	0	0	0	0	254	0	170	170	10	32	6	23/04/2002 15 11	
	0	0	0	0	254	0	170	170	10	32	6	23/04/2002 15 11	
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	47	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	48	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11
	0	0	0	0	254	0	0	0	0	0	49	6	23/04/2002 15 11

Figura 6.28 d) Tabla de diagnóstico de equipos del SATEX.

La figura 6.29 muestra los recursos del SET para reportar la falla en la CUO, esta falla se presentó al actualizar los datos del muestreo 7 de la orbita cero.

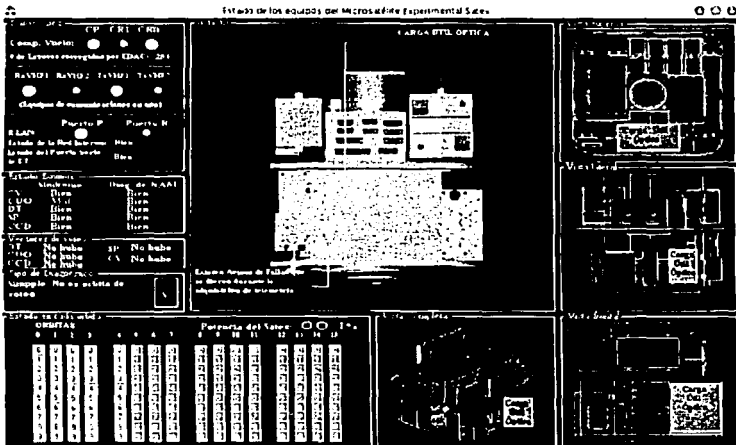


Figura 6.29 Falla reportada por el SET en el síndrome de la CUO.



En SOFDEVO se simuló el síndrome de la CUO, con el valor decimal 2, al cual le corresponde la bandera para detectar la falla en el diagnostico de RAM de la CUO. La figura 6.30 presenta detalles del síndrome de la CUO que reporta el SET al usuario.

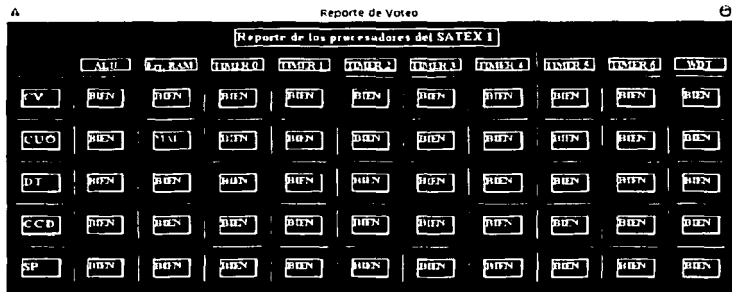


Figura 6.30 Detalle del síndrome de la CUO reportado por el SET.

En la figura 6.31 se observa la falla simulada para el sistema de potencia, esta falla se actualiza en la pantalla del SET al cargar los parámetros correspondientes de la orbita 1 dentro del octavo muestreo.

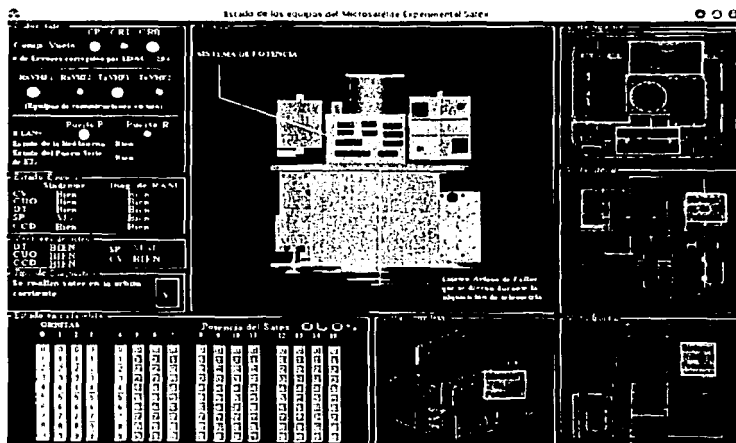


Figura 6.31 Falla reportada por el SET acerca del síndrome de SP.

FALLA DE ORBITA 1

Utilizando SOFDEVO se simuló el síndrome del SP con el número decimal 4, este número contiene las banderas para detectar fallas en el TIMER 0 y en el TIMER 1 del microprocesador de la computadora del sistema de potencia. En la figura 6.32 se observan detalles del síndrome de SP reportado por el SET.

Reporte de Votoo

Reporte de los procesadores del SATÉX I

	AMA	SP_FAM	TIMER0	TIMER1	TIMER2	TIMER3	TIMERA	TIMERA	TIMERA	WDT
CA	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN
CUO	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN
DI	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN
CFD	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN
SP	BIEN	BIEN	VAL	VAL	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN

Figura 6.32 Detalle reportado por el SET acerca del síndrome de SP.

La figura 6.33 presenta la falla detectada para la cámara digital, los valores de esta falla se actualizan al cargar los valores de la orbita 2 y el muestreo número 3.

Estado de los equipos del sector de Experimentación

Estado de los equipos del sector de Experimentación

Orbita	Muestreo	Estado
1	1	BIEN
1	2	BIEN
1	3	BIEN
1	4	BIEN
1	5	BIEN
1	6	BIEN
1	7	BIEN
1	8	BIEN
1	9	BIEN
1	10	BIEN
1	11	BIEN
1	12	BIEN
1	13	BIEN
1	14	BIEN
1	15	BIEN
1	16	BIEN
1	17	BIEN
1	18	BIEN
1	19	BIEN
1	20	BIEN
1	21	BIEN
1	22	BIEN
1	23	BIEN
1	24	BIEN
1	25	BIEN
1	26	BIEN
1	27	BIEN
1	28	BIEN
1	29	BIEN
1	30	BIEN
2	1	BIEN
2	2	BIEN
2	3	BIEN
2	4	BIEN
2	5	BIEN
2	6	BIEN
2	7	BIEN
2	8	BIEN
2	9	BIEN
2	10	BIEN
2	11	BIEN
2	12	BIEN
2	13	BIEN
2	14	BIEN
2	15	BIEN
2	16	BIEN
2	17	BIEN
2	18	BIEN
2	19	BIEN
2	20	BIEN
2	21	BIEN
2	22	BIEN
2	23	BIEN
2	24	BIEN
2	25	BIEN
2	26	BIEN
2	27	BIEN
2	28	BIEN
2	29	BIEN
2	30	BIEN

Figura 6.33 Falla detectada por el SET acerca del síndrome de CCD.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por medio de SOFDEVO también se simuló el síndrome de la CCD, con el número decimal 8, este valor lleva las banderas para detectar fallas en el TIMER 2 y TIMER 3 del microprocesador de la cámara digital. En la figura 6.34 se observan detalles del síndrome de la CCD detectados por el SET.



Figura 6.34 Falla detectada por el SET acerca del síndrome de la CCD.

La figura 6.35 muestra la falla detectada por el SET en el síndrome de la computadora de vuelo, los valores de esta falla se actualizan al cargar los datos de la segunda orbita dentro del octavo muestreo.

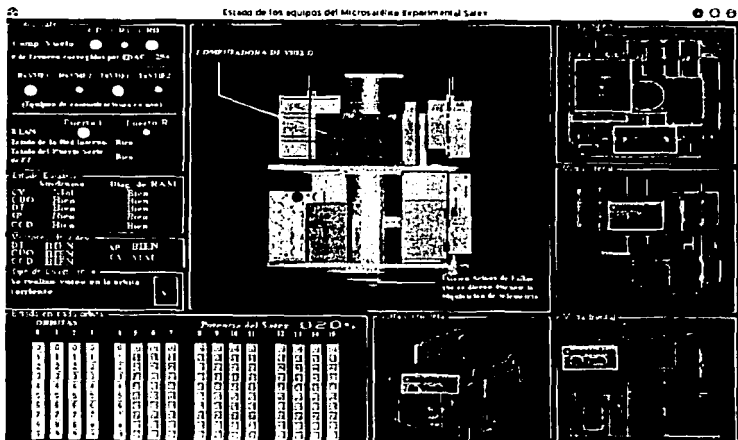


Figura 6.35 Falla detectada por el SET acerca del síndrome de la CV.

ESTRUC CON FALLA DE ORIGEN

En SOFDEVO se simuló el síndrome de la CCD, con un valor decimal 16, este valor contiene la bandera para detectar la falla en el TIMER 4 del microprocesador de la CV. En la figura 6.36 se presentan detalles del síndrome de la computadora de vuelo detectado por el SET.

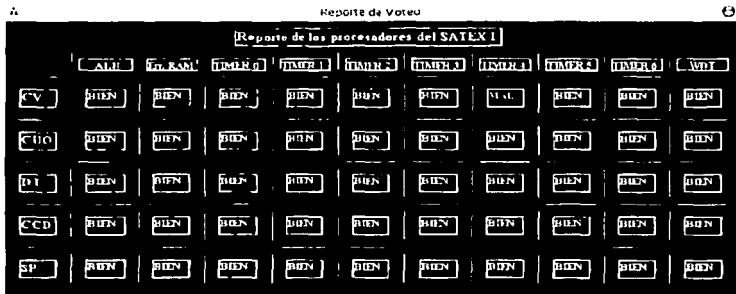


Figura 6.36 Falla detectada por el SET acerca del síndrome de CV.

En la figura 6.37 se observa la falla detectada por el SET en el detector de tonos, esta falla se actualizó al cargar los valores obtenidos dentro de la orbita 3 y el muestreo número 5.

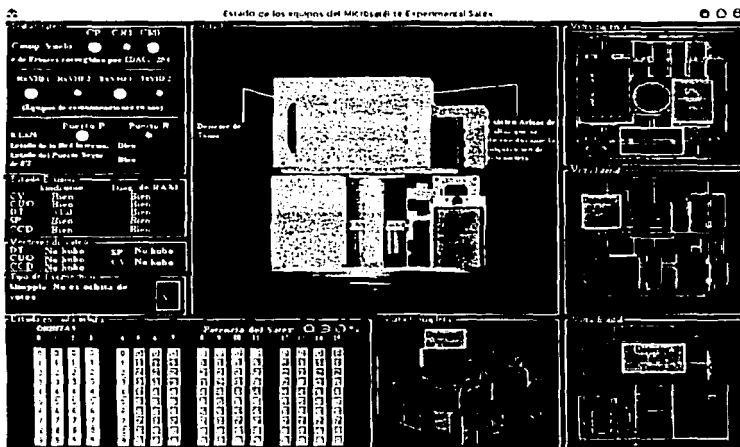


Figura 6.37 Falla detectada por el SET en el síndrome del DT.

Utilizando SOFDEVO también se formo el síndrome del DT, con el número decimal 32, el cual lleva la bandera para detectar la falla en el TIMER 5 del microprocesador del DT. En la figura 6.38 se muestran detalles del síndrome del DT detectado en el SET.

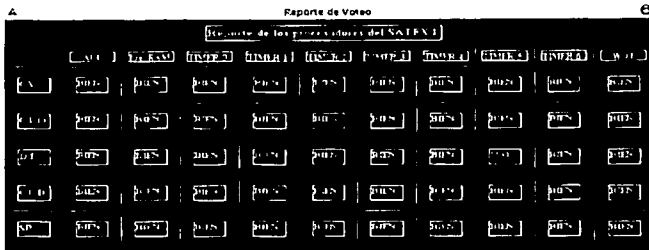


Figura 6.38 Falla reportada por el SET acerca del síndrome de DT.

Cabe resaltar que los síndromes de cada computadora también incluyen banderas binarias para reportar otras fallas en los microprocesadores, por ejemplo, se pueden reportar errores en la unidad lógica y en la unidad aritmética.

6.7 Pruebas de certificación para la interacción con el experimento de captura de imágenes digitales

Este experimento se certifica por medio de SOFDEVO, solo basta indicar la ruta para obtener la imagen (SOFDEVO puede simular la captura de 4 imágenes) y cuando se cumplan los parámetros contenidos en el comando de adquisición de imagen, la computadora de vuelo solicita al sistema de potencia que encienda a la cámara digital y después solicita a la CCD que realice la captura de la imagen, posteriormente la CV solicita que le transfiera la imagen para que la almacene en su memoria, inmediatamente después de que la computadora de vuelo almacena la imagen solicita al sistema de potencia que apague a la cámara digital.

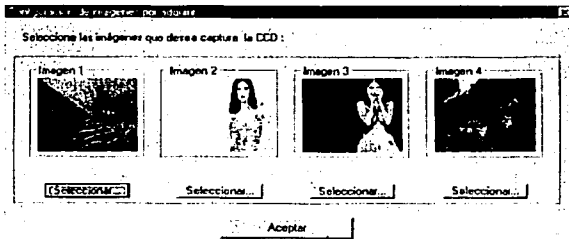


Figura 6.39 Configuración de imágenes que se pueden adquirir en SOFDEVO.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Una vez proporcionadas las rutas de donde SOFDEVO extraerá las imágenes, en el cuadro de la pantalla principal de SOFDEVO "Prog.Imagen" existe un control donde se selecciona la imagen por capturar y automáticamente se actualiza el tiempo en el que fue programada la captura de la imagen desde el SET. En la figura 6.40 se observan los datos que se cargan en el objeto al seleccionar la "Img 1", estos parámetros indican que SOFDEVO realizará la captura de la imagen a los 110 minutos, es decir en la órbita número 1 dentro del primer muestreo.

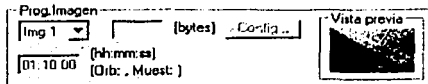


Figura 6.40 Imagen a capturar.

La figura 6.41 presenta la pantalla utilizada en SOFDEVO para realizar la captura de la imagen solicitada.

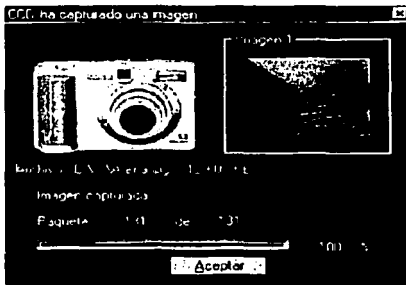


Figura 6.41 Objeto mostrado por SOFDEVO al simular la captura de una imagen.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones

7.1 Introducción

El SET evolucionó de un trabajo anterior de tesis, de tal forma que esta nueva versión es más atractiva, amigable y también permite validar gran parte de las funciones automáticas que realizará el microsatélite, además SOFDEVO permite validar muchos otros procesos de las otras computadoras de experimentos a través de la simulación de las cargas útiles lo que ayudará a reducir el tiempo de integración del microsatélite eliminando posibles incompatibilidades de software.

También es importante enfatizar que todo el hardware de la estación terrena (antenas, motores, equipo de radio, etc.) ya se tiene comprado e instalado en Ensenada Baja California en el CICESE. Esto es importante porque se genera infraestructura en el país que bien se puede aprovechar para generar nuevos proyectos.

Todo el desarrollo tecnológico realizado en el proyecto SATEX puede ser la base para empezar a generar opciones de investigación y trabajo en el ámbito espacial, esperamos que este proyecto se concluya en un periodo de tiempo muy breve para beneficio del desarrollo tecnológico de México.

7.2 Conclusiones

Los elementos virtuales que se muestran en el SET contemplan la posibilidad de ser mejorados cada día, estos elementos proporcionan una forma factible y clara de mostrar la información. Lo que se realizó en el SET fue proponer ideas para obtener una visión de cómo se puede entender de la mejor manera posible la información proveniente del microsatélite.

Del trabajo expuesto se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Ya se tenía planteado el protocolo de comunicaciones que utilizaría el SET con la computadora de vuelo del microsatélite, lo único que restaba es certificar el envío de comandos y misiones, destacando que este protocolo fue creado solo para satisfacer las necesidades del proyecto SATEX.
- Se realizaron mejoras al SET que tuvieron que ver con la eliminación de redundancias y la optimización en código. También, se programaron rutinas que lo hacen tolerante a fallas en la transmisión y en la recepción de comandos.
- Se programaron rutinas de diagnóstico para las computadoras del microsatélite por dos métodos: diagnóstico simple y voto democrático, estas rutinas básicamente se realizaron en el software de la computadora de vuelo. Los procesos de diagnóstico se pueden programar desde Tierra en términos de orbitas; es decir, que en algunas orbitas se realice el diagnóstico simple y en otras el voto democrático.

- Se programó y certifico el despliegue de los resultados de diagnóstico entre equipos del satélite, se depuraron los errores que no permitían realizar las gráficas de telemetría normal.
- Se optimizó y se proporcionó mantenimiento a las bases de datos del SET.
- Se programó por completo el comando de adquisición de telemetría especial en el software de computadora de vuelo, en el SET se realizó la programación necesaria para hacer las gráficas correspondientes de la información capturada de telemetría especial.
- Se programó el comando en línea de telemetría en Kourou tanto en la computadora de vuelo como en el software de estación terrena.
- Se incluyeron nuevos comandos y se certificaron los comandos en línea.
- En general se depuraron todas las pantallas que se encuentran dentro del SET que no permitían un funcionamiento adecuado.

7.3 Recomendaciones

Se ha creado un sistema bastante consistente para las operaciones principales del microsatélite, esta versión del SET puede usarse para futuros proyectos y pueden implementarse más funciones y nuevos experimentos.

Desde el inicio del proyecto, el software SET paralelamente con el software de la computadora de vuelo se han adaptado a las necesidades o cambios dinámicos que ha experimentado el proyecto microsatelital.

Algo sumamente importante que se aconseja es que la PC donde se ejecute el SET, tenga un monitor con una resolución de 1024x720 pixeles para observar todos los detalles en cuanto al diagnóstico de los equipos y las gráficas de telemetrías de una manera más rápida sin necesidad de estarse desplazando con las barras de desplazamiento (no es necesario), esto facilita la visualización de la información mostrada en las ventanas donde se realizan las graficas de los sensores de TLMN.

Es conveniente que la PC se dedique exclusivamente a ejecutar el software de estación terrena ya que la atención del sistema operativo a otros programas puede generar problemas de saturación de memoria.

Debido a que los tiempos en línea de vista entre el microsatélite y Tierra son muy reducidos, una forma de optimizar estos tiempo y poder realizar un mayor número de experimentos con el SATEX es reducir la cantidad de muestras de TLME que en estos momentos es de 20,000, si se reduce a la mitad se tendrían suficientes datos para realizar un buen análisis de los sensores correspondientes, además el envío de estas muestras a Tierra se realizaría en un menor tiempo.

Las muestras obtenidas para graficar cada sensor se almacenan en una variable entera (con 10 bits se almacena el resultado de una muestra), los resultados de cada muestra se están enviando en 2 bytes, por lo que se pueden utilizar corrimientos para optimizar el envío de los datos y así enviar una menor cantidad de bytes logrando de esta manera obtener tiempo adicional para realizar otros experimentos cuando se encuentren en vista microsatélite-Tierra.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sería muy conveniente mejorar la base de datos, estructurándola de una mejor manera y dando mayor seguridad a su acceso y de ser posible cambiar la base de datos de Access a otra plataforma con más recursos, generando además restricciones para usuarios con limitantes de uso y libertades para las estaciones que pertenezcan al proyecto.

Se podría contar con otra estación terrena en otro país, para evitar problemas en el envío de comandos y misiones lo que se recomienda es limitar el SET, es decir quitarle permisos para poder enviar misiones y solo permitirle capturar los datos de telemetrías. Así si contamos con una base de datos que se encuentre dentro de un servidor se podrían obtener los resultados de las telemetrías en menores tiempos y se actualizarían ambas estaciones terrenas. Por último, para los elementos virtuales del microsatélite, esta abierta la posibilidad de mejorarlos para tener una forma más factible y clara de mostrar la información.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

- [NERI, 2002] Neri Vela Rodolfo
"Comunicaciones por satélite"
Internacional Thomson Editores
Mayo 2002
- [TANENBAUM, 1997] Tanenbaum Andrew S.
"Computer Networks"
Third Edition
Prentice Hall, New Jersey 1997
- [VICENTE, 1994] Vicente Vivas Esaú
"Diseño y construcción del prototipo de una computadora industrial tolerante a fallas"
Informe técnico, Instituto de Ingeniería UNAM, Mayo 1994
- [VICENTE, 1996] Vicente Vivas Esaú
"Computadora de vuelo, programación e instrumentación para un microsatélite de órbita baja"
Informe técnico, Instituto de Ingeniería UNAM, Agosto 1996
- [VICENTE, 1996] Vicente Vivas Esaú
"Elección y adquisición de sensores del SATEX, así como su caracterización e integración a la instrumentación de abordó"
Informe técnico, Instituto de Ingeniería UNAM, Octubre 1996
- [VICENTE, 1998] Vicente Vivas Esaú
"Validación de la instrumentación para el microsatélite SATEX"
Informe técnico del proyecto 6143, patrocinado por el IMC, Instituto de Ingeniería UNAM, Junio 1998
- [VICENTE, 1999] Vicente Vivas Esaú
"CTF-3PRO Computadora tolerante a fallas con capacidad de multiprocesamiento para microsatélites"
SOMI XIV Congreso de Instrumentación, Puebla, México
Septiembre 1999
- [VICENTE, 2000] Vicente Vivas Esaú
"Cómputo distribuido a bordo del microsatélite mexicano SATEX, una solución que permite el diagnóstico y la detección de fallas en modo asistido y en modo automatizado"
Informe técnico, Instituto de Ingeniería UNAM
Agosto 2000
- [VICENTE, 2001] Vicente Vivas Esaú
"Instrumentación de vuelo espacial para microsatélites"
Informe técnico, Instituto de Ingeniería UNAM
Octubre 2001
- [FEIGENBAUM, 1982] Edward A. Feigenbaum
"Knowledge Engineering in the 1980s"
Dept. Of Computer Science, Stanford University, C.A. 1982
- [RILEY, 1998] Joseph Giarratano, Gary Riley
"Expert systems, principles and programming"
1998, pag 59. 3a edición

- [RACLEY, 1996] Michael Raclely, Miranda Cooler, George Davis, Jennifer Mackey
"Alternative approaches to mission control automation at NASA's Goddard Space Flight Center"
1996
- [SIEMENS, 1997] Users Manual 06.90/08.97
"Microcomputer Components SAB 80C166/83C166 16-Bit CMOS Single-Chip Microcontrollers for Embedded Control Applications"
Simens 1997
- [MEJÍA, 2002] Mejía Sosa Iris A.
"Análisis de confiabilidad de la instrumentación de vuelo y sensores para un microsatélite experimental"
Tesis de licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Enero 2002
- [TORRES, 2002] Torres Fuentes Juan Ramón
"Software de operaciones, de tolerancia a fallas y e telecomunicaciones para un microsatélite experimental"
Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM, Agosto 2002
- [ORTIZ, 2003] Ortiz Hugo
"Implantación de técnicas de tolerancia a fallas, ensamble y validación operativa de la computadora de vuelo del microsatélite SATEX"
Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM, Enero 2003
- [BALENA, 1999] Balena Francesco
"Programming Microsoft Visual Basic 6.0. Master object-oriented programming techniques for rapid 32-bit development"
Microsoft Press, United States of America. 1999
- [CEBALLOS, 1999] Ceballos Sierra Francisco Javier
"Enciclopedia de Visual Basic 6.0"
Alfaomega 1999
- [HALVORSON, 1998] Halvorson Michael
"Aprenda Visual Basic 6.0"
Mc Graw-Hill 1998
- [FARIAS, 1999] Farias González Adrián
"Visual Basic Avanzado"
UNICA 1999
- [POBLETE, 1999] Poblete Muñoz Tania
"Visual Basic 5.0"
UNICA 1999

REFERENCIAS WEB

Centro de Investigación Científica
de Estudios Superiores de Ensenada
(CICESE)

<http://www.satex.org.mx>

Centro de Investigación en
Matemáticas
(CIMAT)

<http://www.cimat.mx>

Centro de Investigación en
Tecnología Digital
(CITEDI)

<http://www.citedi.mx>

Comisión Federal de
Telecomunicaciones
(COFETEL)

<http://www.cft.gob.mx>

Instituto de Astrofísica
Óptica y Electrónica
(INAOE)

<http://www.inaoep.mx>

Instituto Politécnico Nacional
(IPN)

<http://www.ipn.mx>

Rigel Corporation (Tarjeta de desarrollo
80C166 Siemens)

<http://www.rigelcorp.com>

Siemens

<http://www.siemens.com>

Tasking Software (Software de desarrollo
80C166 Siemens)

<http://www.tasking.com>

Surrey Space Centre (SSC)
(Universidad de Surrey, Inglaterra)

<http://www.ee.surrey.ca.uk>

Instituto de Ingeniería
UNAM

<http://cipactli.iingen.unam.mx/~satex>

PUIDE 98:

<http://www.unam.mx/unamsat/unamesp.htm>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN