



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ A R A G O N ”

**PROYECTO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO A
SISTEMAS DE RADIOFRECUENCIA OPERADOS EN EL
CENTRO DE CONTROL DEL SISTEMA DE SATELITES
MORELOS**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

FALLA DE ORIGEN

Presenta:

MANUEL CUEVAS SANCHEZ



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 está 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.

INDICE

	Página
- INTRODUCCION.	1
- CAPITULO 1. FACILIDADES DEL CENTRO DE CONTROL.	
1.1 Generalidades.	4
1.2 Area de operaciones	9
1.3 Area de computo.	11
1.4 Area de mantenimiento (BB y RF).	12
1.5 Area de ingeniería del satélite.	13
1.6 Area de dinámica orbital.	14
1.7 Area de comunicaciones.	16
1.8 Area de soporte técnico y entrenamiento.	17
- CAPITULO 2. LOS SISTEMAS DE RADIOFRECUENCIA (RF).	
2.1 Interface de los sistemas de radiofrecuencia (RF).	18
2.2 Sistemas de RF para el enlace ascendente.	21
2.3 Sistemas de RF para el enlace descendente.	48
2.4 Sistemas de antena para telemetría, rastreo y comando.	62
2.5 Sistema de antena para telemetría y comando.	67
2.6 Unidades auxiliares en los sistemas de RF.	72
- CAPITULO 3. PROBLEMÁTICA Y NECESIDADES ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE RF.	
3.1 Problemática actual.	80
3.2 La necesidad de establecer un programa de mantenimiento.	92

- CAPTULO 4. EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.	
4.1 Generalidades.	95
4.2 Ventajas del mantenimiento preventivo.	97
4.3 Elementos de la teoría de fiabilidad.	101
4.4 Los recursos humanos dentro del mantenimiento.	121
4.5 Seguridad e higiene en el trabajo.	123
4.6 Documentación y registro del mantenimiento.	125
4.7 Programación del mantenimiento preventivo.	135
4.8 Mediciones y cálculos en los sistemas de RF.	145
- ESTUDIO ECONOMICO.	182
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	189
BIBLIOGRAFIA.	191

INTRODUCCION.

Considerando la importancia que tiene un sistema de satélites de comunicaciones, los cuales han proliferado rápidamente en los últimos cuatro años y porque constituyen una forma económica de construir rápidamente redes de comunicación a larga distancia, merecen una atención especial, por lo que en este trabajo se analizará una de las etapas que componen al sistema.

Cabe señalar que desde 1979, la evolución de los sistemas de comunicación nacionales vía satélite, se han caracterizado por dos tendencias: La primera de ellas es la iniciación del servicio en la Banda Ku y la segunda es la introducción de nuevas técnicas de modulación.

El servicio de telecomunicaciones vía satélite se puede canalizar mediante tres formas, las cuales son: Los sistemas de satélites internacionales INTELSAT; los sistemas domésticos y los sistemas móviles.

Con respecto a la primera forma, el sistema INTELSAT proporciona rutinas fidedignas para llevar a cabo las comunicaciones mundiales. La segunda opción permite establecer comunicaciones domésticas o exclusivas para territorios nacionales. Los países como Canadá, la Unión Soviética, Estados Unidos de Norte América y México, entre otros, hacen uso de este tipo de sistema satelital, al transmitir telefonía, T.V., teleaudiencia, así como el tráfico de voz y datos. Finalmente en el caso de servicios móviles, las comunicaciones vía satélite, se han extendido a barcos mediante el sistema MARISAT y próximamente a aviones por AEROSAT.

Las comunicaciones por satélite comprenden desarrollos de ingeniería para pruebas y operaciones, con lo cual es ahora un floreciente programa. Se entiende así que en la tendencia futura de las comunicaciones vía satélite, se continuarán con progresos importantes en función del número y la capacidad de nuevos satélites de comunicaciones.

Dado lo anterior es palpable y entendible la relevante función de un Sistema de Comunicaciones. Sin embargo es también de primordial interés tomar en cuenta lo concerniente al control que se debe ejercer sobre el satélite de comunicaciones. Para tal fin se tiene que contar con un control en cuanto al rastreo de los satélites, recibir la telemetría proveniente de ellos, así como mandar los comandos necesarios; con objeto de mantener comunicación permanente y control absoluto en su órbita geosíncrona y de esta manera, lograr que los servicios prestados por los mismos, funcionen de manera adecuada en todos sus aspectos y modalidades.

Por lo antes expuesto y con una apreciación personal, considero que para lograr el correcto aprovechamiento de nuestro Sistema de Satélites Morelos, el cual estará bajo estudio, se deberá basar en el seguimiento estricto de un Programa de Mantenimiento (PM) a sistemas asociados en el control sobre los satélites de comunicaciones. Debido a que el Sistema de Satélites Domésticos en México, es relativamente reciente y por estar en su primera etapa de funcionamiento operativo, se tiene la necesidad de contar con un programa de mantenimiento, representando la inexistencia de dicho programa un problema actual a corregir.

Entonces el objetivo fijado para este trabajo, es el de plantear un Proyecto de Mantenimiento Preventivo (MP) a Sistemas de Radiofrecuencia, abarcando factores y recursos inherentes a la técnica del mantenimiento como herramienta para obtener lo descrito anteriormente.

El Proyecto del Programa de Mantenimiento a plantear, se enfocará y quedará restringido a los sistemas que operan en la etapa de Radiofrecuencia (RF), del segmento terrestre en el Centro de Control del Sistema de Satélites Morelos. Dicho Centro de Control del Satélite es llamado "Ing. Walter C. Buchanan", el cual se ubica en el Conjunto de Telecomunicaciones (CONTEL) Iztapalapa, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Ahora, para poder relacionar el tema a tratar, es necesario primeramente conocer como funciona el Centro de Control del Sistema de Satélites Morelos. Para tal fin, en el capítulo 1, se describe de forma general, las facilidades operativas y organizativas que nos proporcionan.

Una vez entendido lo que es el Centro de Control, se analizará lo concerniente al Sistema de Radiofrecuencia, con objeto de conocerlo en detalle y estimar la importancia que tiene dentro del Centro de Control. Esto quedará asentado en el Capítulo 2.

En el Capítulo 3, se exponen los problemas técnicos y necesidades organizativas existentes, relacionados con los sistemas de Radiofrecuencia. Los problemas van desde la necesidad de organización del almacén; implementación de un laboratorio para equipo electrónico y requisición de refacciones y herramientas; teniendo por último elaborar el programa de mantenimiento que asocia a estos problemas.

El Capítulo 4, da a conocer los elementos, recursos y documentación necesaria, que permitirá proyectar el planteamiento del PM. Asimismo se analizarán los conceptos teóricos y los procedimientos de mediciones así como los cálculos asociados, para determinar los parámetros operativos necesarios y de esta manera evaluar el estado operativo de los Sistemas de Radiofrecuencia.

Por último se hacen las conclusiones al respecto, así como las recomendaciones pertinentes, las cuales nos servirán como alternativas de solución para lograr el funcionamiento adecuado de los sistemas de RF en consideración. Además de las conclusiones se efectúa un estudio económico, con el fin de conocer la inversión que se hará para la adquisición de la instrumentación necesaria y llevar a cabo el PM.

CAPITULO 1. FACILIDADES DEL CENTRO DE CONTROL.

1.1 GENERALIDADES.

En la actualidad, la Dirección General de Telecomunicaciones (DGT), cuenta con cuatro Direcciones. Una de ellas es la de Sistemas de Satélites Nacionales. Esta Dirección está constituida por cuatro Subdirecciones, las cuales son: Infraestructura terrestre, Promoción de Sistemas Espaciales, Ingeniería de Sistemas Espaciales y la de Control.

Esta última Subdirección, es la que interesa por estar directamente relacionada con el Centro de Control del Sistema de Satélites "Morelos" y sus áreas respectivas, que posteriormente se analizarán desde el punto de vista funcional.

La figura 1.1 nos da a conocer el desglosamiento del organigrama que comprende la rama de interés. La región acotada con las líneas punteadas nos representa las partes que integran al Centro de Control del Satélite (CCS).

La Subdirección de Control tiene siete áreas, que tienen por objetivo común el mantener un control absoluto sobre los satélites en órbita geostacionaria para establecer las comunicaciones mexicanas.

Además del CCS existe una estación alterna a la de Iztapalapa con residencia en Filmore California, la cual proporciona redundancia o respaldo para recibir telemetría, transmitir comandos, hacer rastreos del satélite. Dicha estación actúa en caso de catástrofe o posibles fallas que ocurrieran en la estación de control de Iztapalapa. También tiene la capacidad para proveer respaldo en operaciones orbitales y cuestiones del sistema de computadoras.

Por otro lado, la estación de control de Iztapalapa está interconectada con la red INTEL SAT, sirviendo en el apoyo de transferencias de órbitas, telemetría, rastreo y comando.

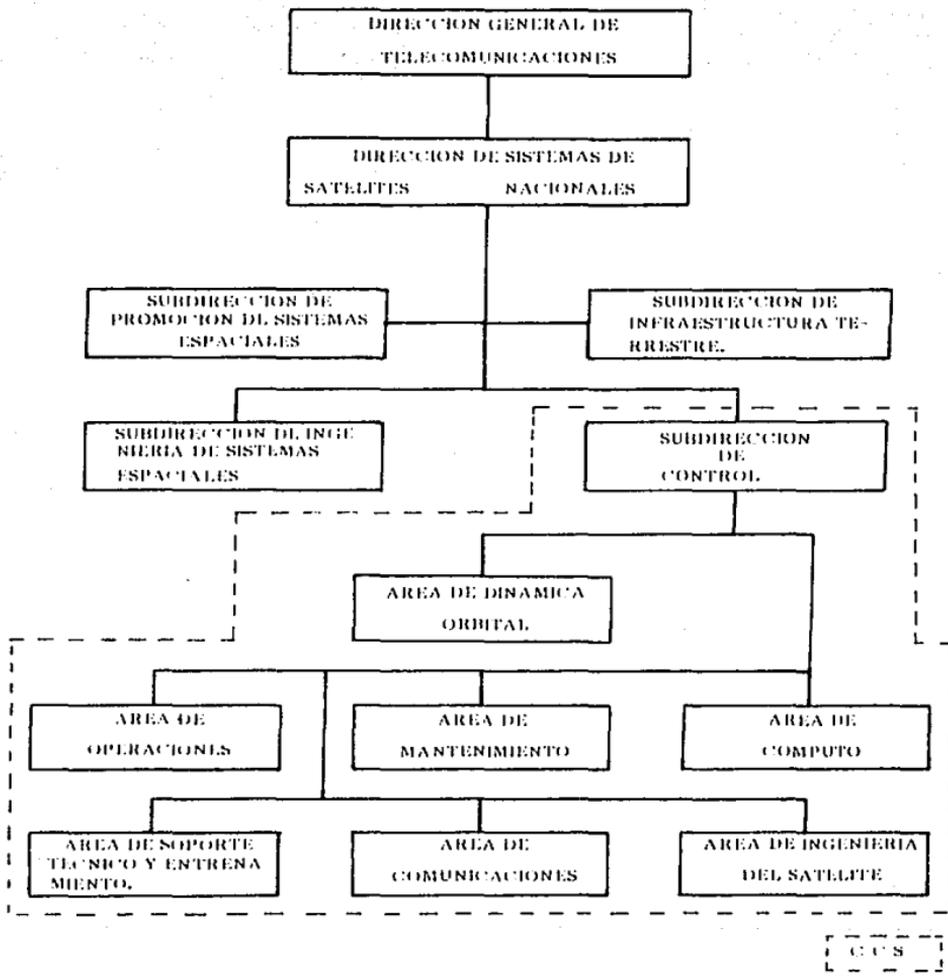


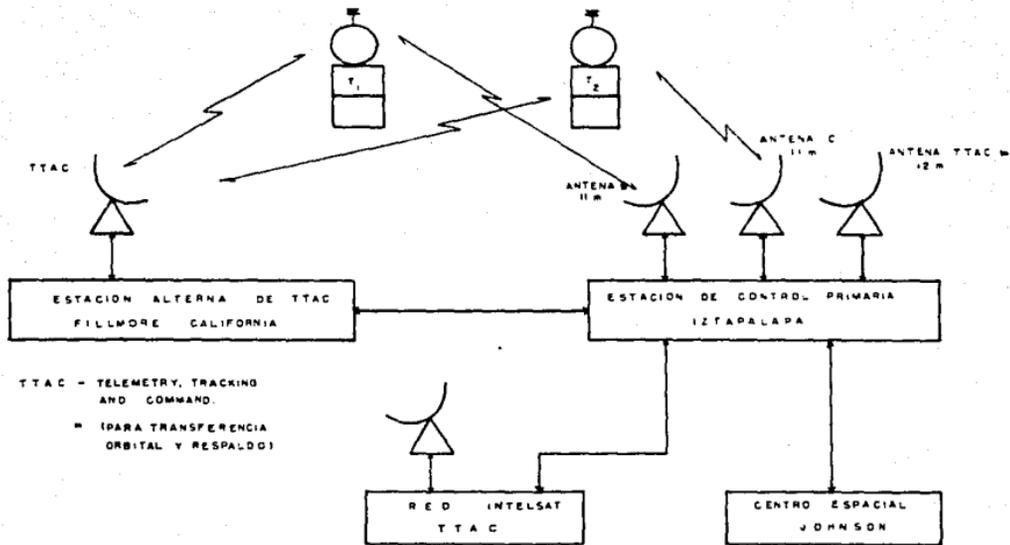
Fig. 1.1 ORGANIGRAMA.

Una interconexión más, se realiza con el Centro Espacial Johnson "JSC" proporcionando el enlace de datos entre el Centro de Control de Iztapalapa y el Sistema de Transportación Espacial "STS".

La figura 1.2 representa las interconexiones y la configuración de la Estación de Control del Sistema Morelos, con las diversas estaciones y centros de Estados Unidos, así como con la red INTELSAT.

El equipo para control, instalado en la Estación Terrena de Control del Satélite (ETCS) de Iztapalapa, trabaja en la banda C (6/4 Ghz.) de Radio Frecuencia. Cuenta con dos sistemas de antenas de comunicaciones de 11 metros y una de 12 metros. El enlace ascendente, enlace descendente y las funciones para telemetría, rastreo, comando y rango son suministradas con algunas modificaciones, para el sistema de antenas de 11 metros. Las interfaces del equipo de la Estación Terrena de Control del Satélite con el Centro de Control del Satélite (CCS), es llevada a cabo mediante una frecuencia intermedia (FI) de 70 Mhz.

En la figura 1.3 se muestra la distribución del CCS y de la ETCS. Aproximadamente a 90 m del CCS se localiza un pedestal de concreto para la antena de 12 m "TTAC" de telemetría, rastreo y comando (TR y C). Mismo que contiene los sistemas de radiofrecuencia. Estos equipos son los amplificadores de alta potencia (HPAS); gabinete de control de antena; los racks para el enlace de subida/bajada y otros que en el capítulo 2 se detallarán.



TTAC - TELEMETRY, TRACKING
AND COMMAND.

W (PARA TRANSFERENCIA
ORBITAL Y RESPALDO)

UNAM	ENEP A.
TESIS	PROFESIONAL
MANUEL CUEVAS S	

FIG. 1.2 CONFIGURACION DEL CONTROL DEL SSM.

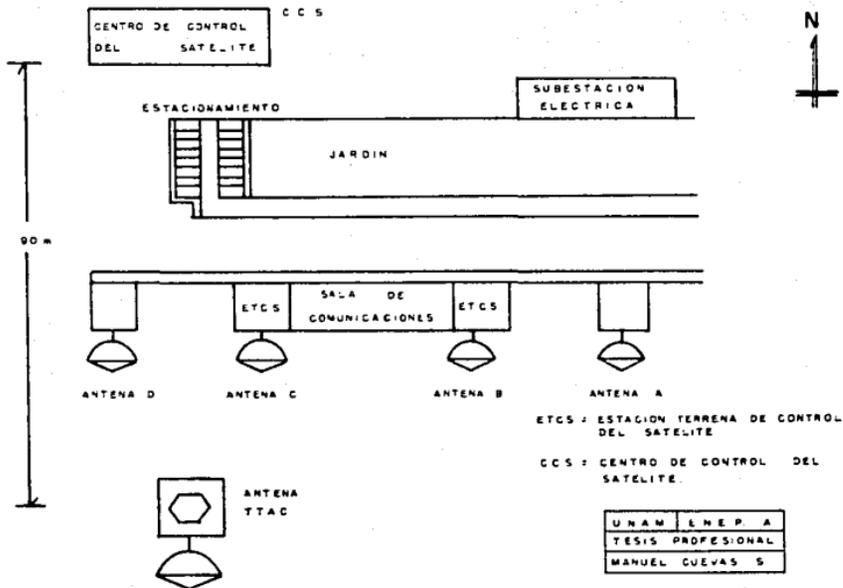


FIG. 13 DISTRIBUCION DE LA INFRAESTRUCTURA DEL CCS Y ETCS.

1.2 AREA DE OPERACIONES.

El Area de Operaciones tiene gran importancia dentro de las actividades que se desarrollan en el Centro de Control, ya que en especial son los controladores quienes estan directamente relacionados con la ejecución de las maniobras y del posicionamiento de los satélites; planeando estas actividades en forma coordinada con las demás Areas, de manera que no interfieran con el control estricto de los satélites.

El Area de Operaciones planea e implementa los procedimientos operativos de contingencia en caso de presentarse alguna falla en los satélites y/o unidades del Centro de Control.

Por otro lado hacen: El monitoreo constante de la información de telemetría enviada por los satélites; configuran las unidades del CCS y ejecutan el envío de los comandos especiales durante la maniobra de posicionamiento y control planeadas por el Area de Dinámica Orbital e Ingeniería del Satélite.

Para que el personal del Area de Operaciones (Controladores) puedan realizar sus múltiples funciones, tendrán que hacer uso de las facilidades o ventajas operativas que tiene el CCS. Dichas funciones se comentarán de forma general en los siete párrafos siguientes.

D En el CCS se pueden recibir y procesar los datos de telemetría, los cuales sirven para determinar el estado de operación del satélite. El Subsistema de Telemetría procesa los datos recibidos del satélite a través de los convertidores de bajada. Los datos de telemetría son enrutados al procesador de datos de la computadora PDP 11/70, el cual compara los datos enviados con los límites establecidos; desplegando los resultados a los controladores del CCS, mediante el Subsistema de Despliegue y Entrada/Salida. Si existen condiciones fuera del límite, se accionará una alarma audible y el mensaje quedará

registrado en la impresora para su posterior análisis.

2) Los equipos de cómputo del CCS están capacitados para determinar la órbita del satélite, su posición, actitud y las maniobras de corrección para mantener el posicionamiento adecuado de los satélites. La computadora PDP 11/70 entre otras funciones procesa los datos de rango (distancia entre ETCS y el satélite) enviados por la unidad Procesador de Tonos de Rango; y decodifica los flujos de telemetría en PCM. Estos datos son utilizados en combinación con el software orbital, para calcular la órbita y posición de actitud del satélite.

3) Desde la Estación se puede comandar el encendido de los cohetes (thruster) del satélite y configurar los cambios de los comandos. Mediante el Subsistema de Despliegue y Entrada/Salida, el controlador puede iniciar la secuencia de comandos en un tiempo apropiado con interacción del computador. Los tonos de comando pueden ser enviados vía la unidad Generadora de Comandos y el Subsistema de Comando/Rango.

4) Se mantiene un minucioso registro de tiempo de los eventos para archivo histórico, que servirán como fuente de análisis. Muchas de las señales son registradas y grabadas en el Subsistema de Grabación que se encuentre en línea: grabación en cinta analógica, discos para archivo y graficadora de papel (Strip chart recorders). Cada 30 días los datos de telemetría (datos que excedan los deltas prescritos) serán almacenados en discos de computadoras y transferirse a cintas magnéticas, si se requiere.

5) Para la configuración de la Estación de Control, se utiliza un Panel de Estado y Control, localizado en la consola del CCS, que podrá operar el controlador. Este panel proporciona al controlador la capacidad para monitorear la configuración de los sistemas en línea, unidades redundantes y el equipo de reserva.

6) Con equipo de la estación es posible la realización de pruebas al satélite.

7) En el CCS se coordinan y controlan todas las actividades asociadas con la órbita de transferencia y las operaciones que se desarrollan en la Estación de Control.

Además de lo descrito el área de operaciones tomará acciones especiales de control, durante las temporadas de eclipses por las que atraviesan los satélites.

1.3 AREA DE COMPUTO.

Computo es el Area que tiene como objetivos el aprovar, actualizar y conducir el mantenimiento del "SOFTWARE" y "HARDWARE", así como la documentación necesaria para las aplicaciones de las Areas de Ingeniería del Satélite y Dinámica Orbital. También organiza todas las actividades relacionadas con el uso efectivo y eficiente del sistema de cómputo. Por otro lado, elabora los programas que se requieran en las diferentes áreas asociadas al CCS. Asimismo analiza información histórica del comportamiento de este sistema.

Las operaciones del Area de Cómputo son llevadas a cabo mediante equipo redundante para las operaciones de órbita y control del satélite. Durante la operación normal en órbita los programas de las computadoras son capaces de manejar las siguientes operaciones inherentes al satélite.

- 1.- Mantener el posicionamiento del satélite.
- 2.- Corrección de actitud del satélite.
- 3.- Mantenimiento y prueba del satélite.
- 4.- Preparar a la estación para pruebas en órbita.
- 5.- Predicción de eclipses e interferencias con el Sol y la Luna.
- 6.- Procesamiento y evaluación de la telemetría del satélite.
- 7.- Procesamiento del rastreo y datos de rango para ayudar en la determinación del cálculo de la órbita del satélite.

- 8.- Desplegar estados de los comandos e información de telemetría.
- 9.- Inicialización y verificación de los comandos.
- 10.- Monitorea todas las posiciones y tiene el control de la antena.
"TTAC" de 12 m, mediante el uso del programa "Track Mode".
- 11.- Monitorea el estado del satélite y el disparo de alarmas.
- 12.- Etiquetación del tiempo y grabación de la telemetría.
- 13.- Procesa datos referentes al apuntamiento de la antena y realiza predicciones de interferencia del Sol y la Luna.

Para que el sistema de cómputo realice sus funciones establecidas, cuenta con los siguientes equipos para asegurar su operación ininterrumpidamente.

- Dos computadoras P D P 11/70
- Selector de computadoras entrada/salida.
- Interface de posición de antena.
- Equipo periférico como: Discos, Cintas magnéticas e Impresoras.

1.4 AREA DE MANTENIMIENTO (BB y RF).

El Area de Mantenimiento de Banda Base (BB) y de Radiofrecuencia (RF), tiene la responsabilidad de aprobar y coordinar los programas de mantenimiento preventivo, así como los procedimientos correctivos que se proporcionen a cada uno de los Sistemas de Banda Base y de Radiofrecuencia, que se encuentren en el Centro de Control del Satélite, casetas de comunicaciones y de control (TTAC).

Dentro de esta Area también se llevan a cabo las siguientes actividades:

- Seguir de cerca la puesta en marcha de los equipos e instalaciones nuevas, a fin de adquirir los conocimientos técnicos necesarios para su futuro mantenimiento.

- Favorecer en los departamentos del CCS, la difusión del conocimiento de los equipos de BH y RF, con objeto de mejorar continuamente su empleo y operación desde el punto de vista técnico.
- Determinar la cantidad de recambios, así como de materiales y refacciones necesarios.
- En los capítulos 3 y 4 del presente trabajo, se tratarán con más detalle los aspectos relacionados con el Área de Mantenimiento.

1.5 AREA DE INGENIERIA DEL SATELITE.

El Área de Ingeniería del Satélite (Space Craft), lleva a cabo las siguientes funciones y responsabilidades.

- Analiza tanto en forma gráfica como analítica la información que define el comportamiento de las unidades que integran los subsistemas de los satélites, con el propósito de detectar posibles anomalías.
- Evalúa las condiciones operativas generales de los siguientes subsistemas que integran a los satélites Morelos: Subsistema de comunicaciones; subsistema de potencia eléctrica; subsistema de propulsión; control de actitud; control térmico, estructura mecánica; subsistema de telemetría, comando/rastreo y rango.
- Verifica los parámetros de telecomando y determina su ajuste en caso necesario o de acuerdo a la época del año.
- Analiza las causas de cualquier anomalía que se presente en el satélite (diagnóstico) y determina los procedimientos necesarios.
- Coordina y evalúa la ejecución de los procedimientos de emergencia que se realicen en el satélite.
- Verifica la ejecución y efecto de cada comando enviando a los satélites.
- Superviza el comportamiento del satélite durante los eclipses, así como preparar la sistemización del reacondicionamiento de sus baterías.
- Efectúa predicciones del comportamiento del satélite.

1.6 AREA DE DINAMICA ORBITAL.

Dinámica Orbital, es el área funcional dentro del CCS, la cual tiene las siguientes funciones y responsabilidades.

Estructura el programa de lanzamiento y procedimientos correspondientes al posicionamiento de los satélites en su órbita.

Calcula el uso óptimo del combustible (hidracina) del satélite.

Autoriza el envío de comandos requeridos para maniobras destinadas al control y posicionamiento de los satélites.

Evalua los resultados de: las predicciones de posición de los satélites; eclipses que lo afectan; interferencias del Sol así como de otros satélites adyacentes.

Establece los requerimientos y actualizaciones del "Software" de la computadora para las operaciones orbitales.

Monitorea las condiciones físicas del satélite y en especial los sistemas de propulsión, antes y después de cada maniobra.

Desarrolla los modelos matemáticos de predicción del comportamiento de los satélites, de los efectos de eclipses e interferencias de otros cuerpos.

Define la planeación y ejecución de las diferentes maniobras de control y posicionamiento de los satélites.

Las principales maniobras que se ejercen sobre los Satélites Morelos son de tres tipos, las cuales se mencionan a continuación en forma sintetizada.

1.- Maniobra de Orientación.

También llamada "Pointing". Consiste en corregir las posibles desviaciones que se dieran en el eje de giro (spin - axis) del satélite respecto al plano ecuatorial. La maniobra de orientación se ve originada por la precesión solar, interpretándose esto como aquella "Fuerza solar" ejercida sobre el satélite, perturbando la verticalidad del eje de giro.

La realización de esta maniobra es llevada a cabo, aproximadamente cada cinco días, por lo que requerirá un 2 % del total del combustible abastecido para la vida del satélite.

2.- Maniobra de Inclinación.

A esta maniobra se le puede llamar "Norte - Sur", porque con ella es posible corregir los errores o variaciones Norte - Sur que se pudieran suscitar en la órbita que describe el satélite, debidas a las fuerzas gravitatorias propiciadas por el Sol, la Luna y la Tierra. El período de ejecución se lleva a cabo cada 28 días.

Al efectuar el cálculo analítico de esta maniobra se hace con especial cuidado, ya que consume el mayor porcentaje del combustible, es decir, hace uso del 97 % del total de hidracina provisto.

3.- Maniobra de Deriva (Drift).

La maniobra Este - Oeste o de deriva, consiste en mantener el posicionamiento del satélite al corregir la órbita en función de variaciones del plano orbital y de su posición longitudinal o movimiento este-oeste sobre el ecuador. La maniobra consume el 1 % del total del combustible.

Los satélites Morelos tendrán una posición tal que siempre estén orientados hacia el CCS, manteniendo las coordenadas de longitud 116.5 W Morelos I y 116.8 W Morelos II, ya que como sabemos, la latitud de todo satélite de comunicaciones en órbita geostacionaria es cero.

Estas factibles anomalías, en cuanto a la órbita geosíncrona que describen los satélites, se relacionan con los siguientes eventos:

- a) **Inclinación de la órbita.** Por influencia de factores astronómicos como son los campos gravitatorios del Sol, la Luna y la Tierra.
- b) **Variaciones en el período orbital.** Un satélite nominalmente estacionario tenderá a derivar en forma natural de su posición longitud, debido a las fuerzas perturbadoras tangenciales. La fuerza principalmente significativa que produce deriva es por efecto de la "triaxialidad" (no homogeneidad) de la tierra.
- c) **Excentricidad de la órbita.** La excentricidad de la órbita cuasi-geostacionaria del satélite, se traduce en una excursión de posición en la longitud establecida. La causa principal de este fenómeno, es la presión por radiación solar, produciendo una variación cíclica de la excentricidad.

1.7 AREA DE COMUNICACIONES.

Además de llevar a cabo el control y monitoreo espectral del tráfico de señales que se cursan a través del satélite Morelos, esta Area establece y realiza las pruebas de comunicaciones en órbita para las bandas de frecuencia C y Ku.

Asimismo se definen los protocolos de pruebas de transmisión, en las bandas antes señaladas, para cada uno de los usuarios de acuerdo al tipo de servicio: TV, TF, Datos y Teleaudición. Las pruebas que se realizan estan en función de los parámetros de transmisión que entre otros tenemos a la frecuencia Central, ancho de banda utilizada, banda de guarda, aislamiento de polarización, punto de saturación, y potencias de transmisión y recepción.

Por otro lado se definen los programas de computadora que sirven como apoyo a las actividades de pruebas de comunicaciones en órbita y monitoreo con base en tecnologías de alta frecuencia y la ayuda de la instrumentación de gran precisión y estabilidad requerida.

1.8 AREA DE SOPORTE TECNICO Y ENTRENAMIENTO.

Es función del Area, diseñar los programas de entrenamiento para la capacitación del personal de nuevo ingreso, además de mantener la actualización y reciclaje del personal existente. Estos programas abarcan el funcionamiento y teoría de operación de los equipos involucrados en un centro de control, así como los subsistemas correspondientes a satélites de la serie HS-376.

Cabe señalar que además de brindar el apoyo y asesoría técnica requerida por las diversas áreas del CCS, realiza los estudios de factibilidad para la implantación de nuevos equipos y/o sistemas con sus respectivas especificaciones técnicas.

Por último también coordina los trabajos de pruebas e instalaciones de los equipos y/o sistemas.

CAPITULO 2. LOS SISTEMAS DE RADIOFRECUENCIA (RF).

2.1 INTERFACE DE LOS SISTEMAS DE RADIOFRECUENCIA.

La interface entre los sistemas de radiofrecuencia y de banda base es mediante una frecuencia intermedia (FI) de 70 Mhz en el segmento terrestre .

La interface de estos sistemas se presenta en la figura 2.1. Se observa que en la interface del subsistema de antena "TTAC" de 12 m con los subsistemas de telemetría, comando/rango y cómputo del CCS, nos proveen los requerimientos de telemetría, rastreo, comando, rango y capacidades de prueba del satélite en órbita. Adicionalmente el subsistema "TTAC" es utilizado como parte de las facilidades del Centro de Control, para las operaciones de órbita de transferencia.

El subsistema de antenas de comunicaciones de 14 m, tiene ciertas diferencias para realizar el enlace ascendente y descendente. La interface de este subsistema con los equipos Amplificadores de alta potencia (HPA'S), y "Command Upconverter" entre otros, tienen la capacidad de mandar comandos y permiten la realización de rangos en el enlace de subida; mientras que la interface con los LNA, los convertidores de bajada de telemetría y otros, proporcionan la capacidad para la recepción de telemetría en el enlace de bajada.

Sólo para tener un panorama completo de los sistemas BB y RF, enlazado al segmento espacial (Satélite), la figura 2.2 presenta en diagrama a bloques, las partes más importantes asociadas al control, que entre otras unidades integrantes al satélite, son las siguientes:

- Antena (Omnidireccional y directiva).
- Receptores de rastreo y comando.
- Decodificadores de comando.

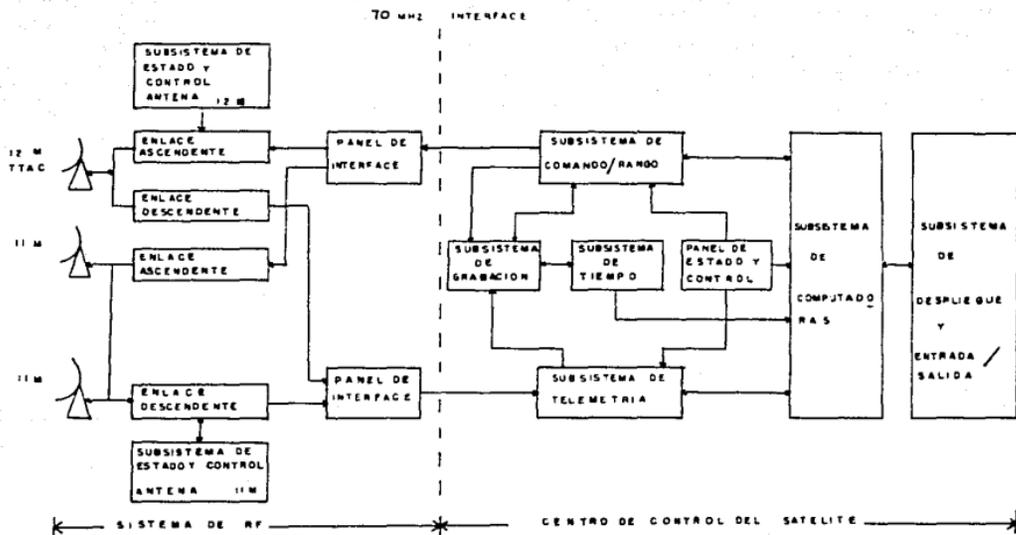


FIG. 2.1 INTERFACE DE LOS SISTEMAS RF.

U.N.A.M.	ENEP A.
T.E.S. PROFESIONAL	
MANUEL CUEVAS S	

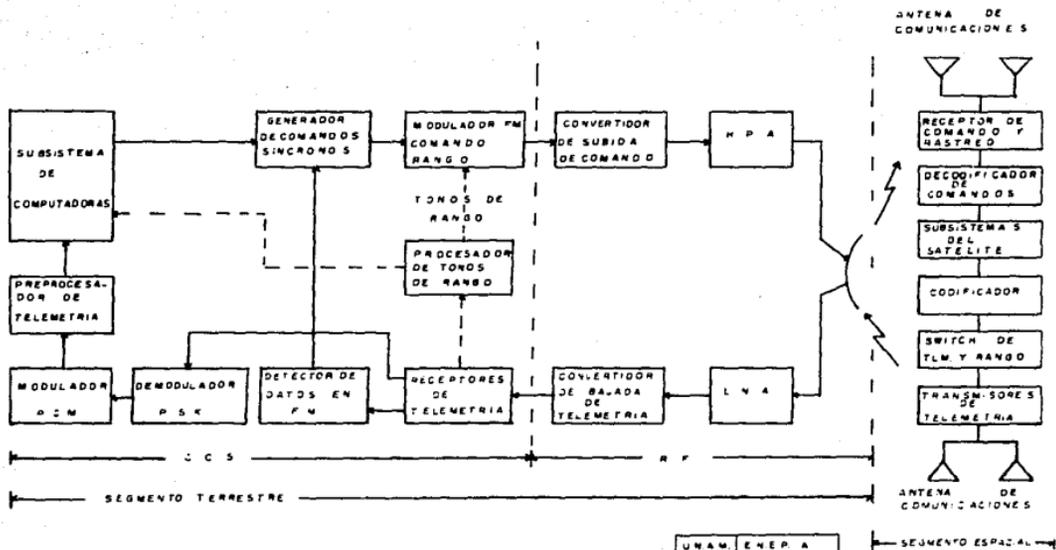


FIG. 2.2 INTERFACE ENTRE EL SEGMENTO TERRESTRE Y ESPACIAL.

Subsistemas de telemetría e interruptores de rango.

- Subsistemas del satélite.
- Codificadores.
- Transmisores de telemetría.

A cada una de estas unidades mencionadas, se le asocian diversos componentes y equipos que no se detallaron, debido a que salen de los objetivos fijados por el presente trabajo.

En los siguientes subcapítulos se hacen las descripciones operativas de todas las unidades y equipos auxiliares que componen al sistema de RF.

2.2 SISTEMAS DE R.F. PARA EL ENLACE ASCENDENTE.

GENERALIDADES.

Los objetivos del enlace ascendente, consisten en el envío de comandos adecuados (ordenamientos) para manipular el control de los satélites de comunicaciones, así como el de realizar los rangos necesarios, desde el CCS hacia el satélite y viceversa; de tal forma que se tengan los datos correspondientes y con esto conocer la distancia a la que se encuentran los dos satélites Morelos. Para tales fines se requerirá necesariamente contar con los siguientes sistemas de RF, mismos que más adelante se describirá su función operativa y características técnicas. Asimismo se describirán en los subcapítulos 2.4 y 2.5 a los sistemas de RF interrelacionados, en dos modalidades:

- a) El sistema de antena de 12 m. (TTAC).
- b) Para el sistema de antena de 11 m. (TC).

En las tablas 2.1 A y 2.1 B se enlistan los sistemas de R.F., que están interrelacionados con las antenas TC y TTAC respectivamente.

RELACION DE SISTEMAS DE RF PARA EL ENLACE ASCENDENTE EMPLEADOS POR EL SISTEMA DE ANTENA DE 11 m. (TC)

SISTEMA DE RF.	CANTIDAD.
- COMMAND UP CONVERTER (Convertidor de subida para comandos)	4
HIGH POWER AMPLIFIER (HPA) (Amplificador de alta potencia)	4
- COMMAND TEST LOOP TRANSLATOR. (Traslador de malla de prueba)	2
- ANTENNA TRACKING AND COMMAND (TC) DE 11 m. (Antena para rastreo y comando)	2

Tabla 2.1 A

RELACION DE SISTEMAS DE RF PARA EL ENLACE ASCENDENTE, EMPLEADOS POR EL SISTEMA DE ANTENA DE 12 m. (TTAC).

SISTEMA DE RF.	CANTIDAD.
- ANTENA TTAC 12 m.	1
- COMMAND UP CONVERTER.	2
- C BAND AGILE UP CONVERTER. (Convertidor de subida ágil en banda C)	2
- FREQUENCY SYNTHESIZER. (Síntetizador de frecuencia)	2
COMMAND TEST LOOP TRANSLATOR.	1
- HPA's	2

Tabla 2.1 B

SISTEMA CONVERTIDOR DE SUBIDA PARA COMANDOS.

El sistema Command Upconverter (CMD U/C) o Convertidor de subida para comandos, es empleado en los sistemas TTAC y TC para el enlace ascendente. El diagrama a bloques de la figura (2-3) nos ayuda a ubicar a dicho sistema interrelacionado con etapas inherentes para el procesamiento de las señales de comando o rango. El propósito del Command Upconverter es el de trasladar la frecuencia de 70 Mhz (contenida en esta frecuencia la información de comando o rango) modulada en frecuencia, la cual es llevada a un barrido en la banda C, para tener así la señal de RF de salida. Estas señales seleccionables están centradas en las siguientes frecuencias.

- a) 5928 Mhz para la antena OMNI (Omnidireccional).
- b) 6422 Mhz para la antena DISH (Disco).

La figura 2.4 representa el diagrama a bloques funcional del CMD U/C. Auxiliándonos de dicho diagrama, se observa que la señal de 70 Mhz es trasladada hasta las frecuencias de 6422 Mhz ó 5928 Mhz, mediante dos etapas de heterodinación. En la primera etapa, los 70 Mhz se mezclan (señal suma) con 6105 Mhz, cuya frecuencia es la del oscilador de fase de amarre, para obtener 6175 Mhz. La segunda mezcla, combina la señal de 6175 Mhz con la frecuencia de 247 Mhz, teniendo de tal forma las frecuencias de salida (suma y resta del 2do. mezclador) de 6422 Mhz (DISH) y de 5928 Mhz (OMNI), representando el barrido en banda C.

La frecuencia de 247 Mhz, barre con una desviación pico a pico de 2.5 Mhz, a una velocidad nominal de 100 hz.

La salida de este oscilador de 247 Mhz, es enviada al 2do. mezclador del CMD U/C para propósitos de heterodinación y también a otro sistema llamado COMMAND TEST LOOP TRANSLATOR que posteriormente se detallará. Los cristales detectores están a la salida de cada oscilador local, para usarse en la detección de posibles fallas del circuito.

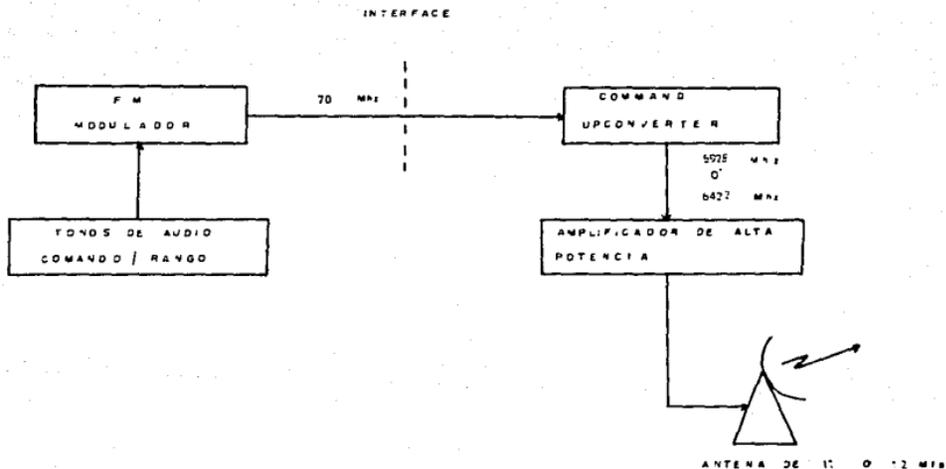


FIG 23 INTERFACE DEL CMMO/U C

U.N.A.M	E.N.E.P. A.
TESIS PROFESIONAL	
MANUEL CUEVAS S.	

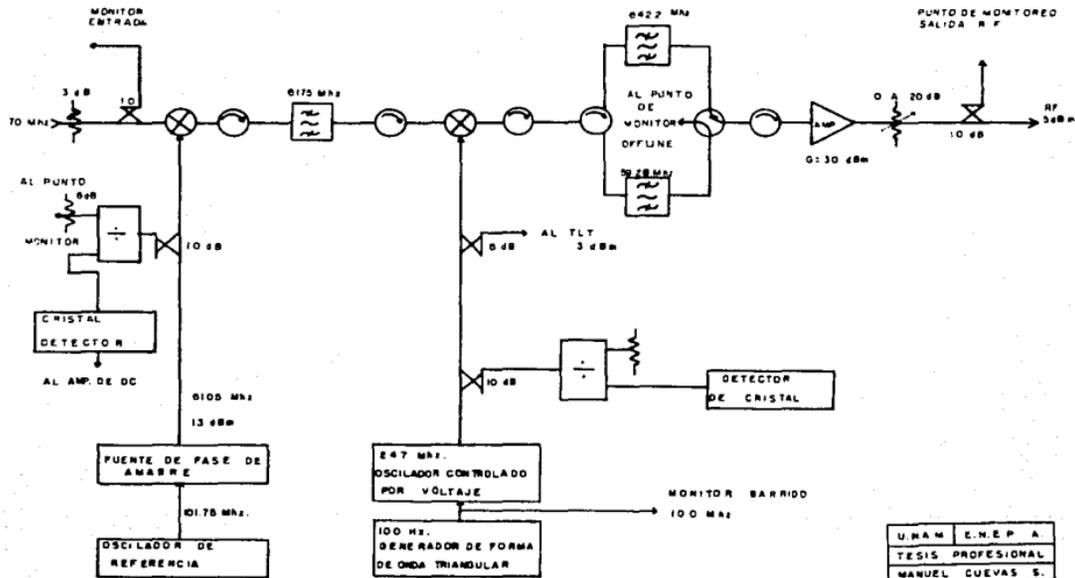


FIG. 2.4 CONVERTIDOR DE SUBIDA PARA COMANDOS.

U.N.A.M.	E.N.E.P.A.
TESIS PROFESIONAL	
MANUEL CUEVAS S.	

A la salida del mezclador se encuentra un aislador y después un circulador, subsecuentemente a ellos tenemos dos filtros paralelos paso banda. Uno de estos filtros esta centrado a una frecuencia de 6422 Mhz y el otro filtro centrado a 5928 Mhz. Separadas estas dos señales, se envían a un switch coaxial. Este switch puede ser controlado desde el panel frontal del CMD U/C via switch OMNI/DISH o desde el panel de estado y control del CCS. La señal que no se encuentre en línea, es llevada a un punto de monitoreo (OFFLINE MONITOR), mientras que la señal que esté en línea, es enviada a un amplificador y posteriormente a un atenuador variable (LEVEL SET), llegando a ser esta última señal la salida seleccionada (5928 Mhz ó 6422 Mhz).

Las figuras 2.5 (a) y 2.5 (b) nos muestran el espectro de la señal de entrada y la de salida del COMMAND UPCONVERTER respectivamente.

En la tabla 2.2 podemos apreciar los datos característicos de funcionamiento del CMD U/C.

SISTEMA TRASLADADOR DE MALLA DE PRUEBA.

El propósito del Command Test Loop Translator (CMD TLT) o trasladador de malla de prueba, es para simular un transponder del satélite, en donde la frecuencia de la señal para el enlace de subida es trasladada a la frecuencia del enlace descendente. En la figura 2.6 podemos observar como está formada la malla de prueba del CMD TLT, así como los equipos que intervienen para tal fin.

El procesamiento en el CMD TLT es el siguiente: Una muestra de la señal del enlace de subida es tomada mediante un acoplador direccional para alimentar el CMD TLT, el cual traslada esta frecuencia de entrada (barrido de banda ζ) a una frecuencia de salida para el enlace de bajada inyectada a la entrada del amplificador de bajo nivel de ruido (LNA). Este arreglo proporciona la malla para prueba y calibración del enlace ascendente/descendente de RF, sin necesidad de utilizar el satélite de comunicaciones. Es

CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO.

- Frecuencia de entrada	70 Mhz. Modulados en FM.
- Frecuencia de salida	Centrada en 6422 Mhz (DISH) ó 5928 Mhz (OMNI)
- Nivel de entrada	-5 dBm nominal
- Nivel de salida	Ajuste desde -15 dBm a + 5 dBm
- Ganancia	10 dB
- Respuesta de amplitud	0.5 dB pico a pico a través del rango de barrido
- Impedancia de entrada	75 OHMS
- Impedancia de salida	50 OHMS
- VSWR entrada	1:25:1 máximo.
- VSWR salida	1: 2:1 mínimo.
- Salidas espurias armónicas	80 dBc, relativo a la potencia de salida
- Velocidad de barrido	Ajustable de 90 Hz a 110 Hz.
- Desviación de barrido	Ajustable desde 2 Mhz pico a pico hasta 5 Mhz pico a pico
- Alimentación	220 VCA, 60 Hz.

TABLA 2.2

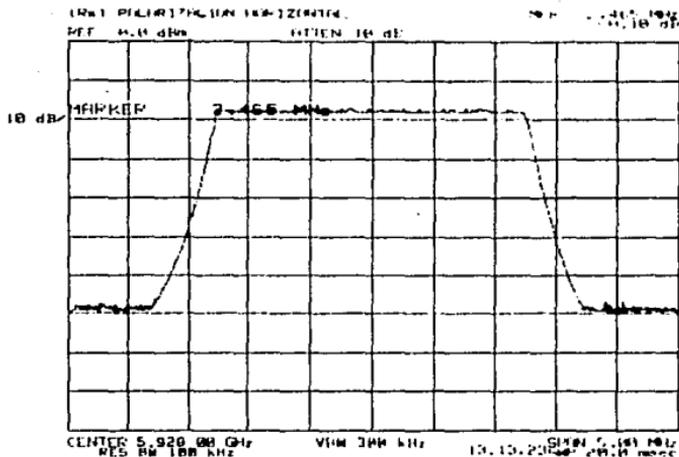


FIG. 2.8(b) SEÑAL DE SALIDA DEL CMD U/C.

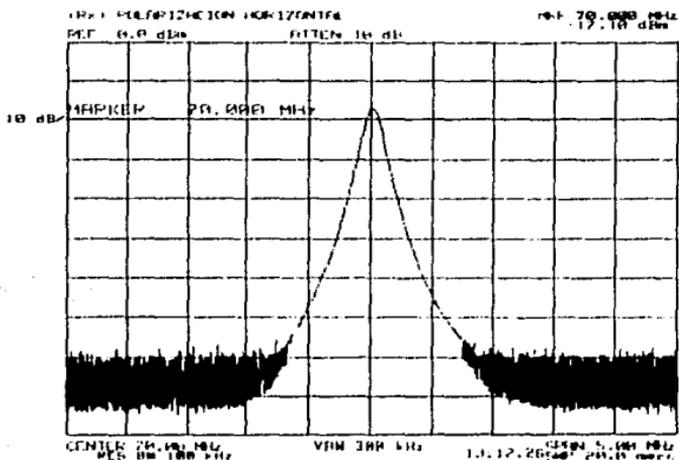


FIG. 2.8(a) SEÑAL DE ENTRADA DEL CMD U/C.

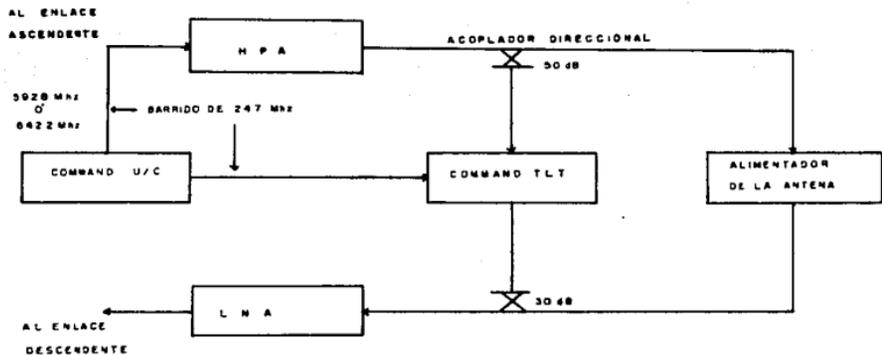


FIG. 26 MALLA DE PRUEBA DEL CMD TLT Y SISTS ASOCIADOS

UNAM	ENEP	A
TESIS PROFESIONAL		
MANUEL CUEVAS S.		

importante aclarar que en la señal para el enlace ascendente está contenido un barrido de banda C y en la señal del enlace de bajada ya no deberá estar presente el barrido anterior. Para esto el CMD TLT remueve el barrido adicionado desde el CMD U/C y opera la función de traslación de RF.

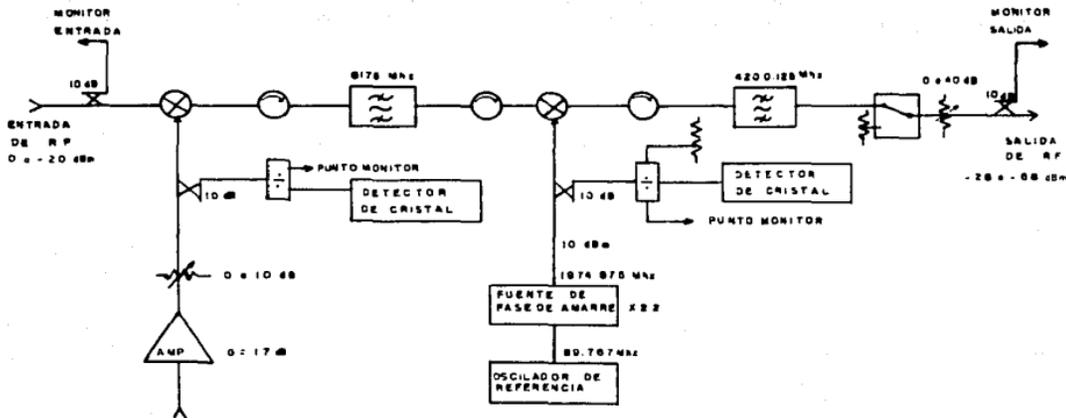
El diagrama a bloques funcional del CMD TLT está representado en la figura 2.7. Auxiliándonos de este diagrama observamos que una muestra del barrido (247 Mhz) de la señal de RF para el enlace de subida de la banda C, entra en el CMD TLT, la cual está normalmente centrada entre 5928 Mhz ó 6422 Mhz. Un primer proceso de dos heterodinaciones que existen en el CMD TLT, es el de mezclar este barrido de entrada con otro barrido de entrada de 247 Mhz en el CMD TLT proveniente del CMD U/C.

La mezcla de estas dos frecuencias de barrido idénticas (247 Mhz), cancelan el barrido de la señal entrante al CMD TLT y resulta una frecuencia sin barrido de 6175 Mhz; esto es posible mediante la suma ($5928 + 247$) y resta ($6422 - 247$) de la señal de RF con los 247 Mhz. En el segundo mezclador se da nuevamente la heterodinación entre las frecuencias de 6175 Mhz y la frecuencia del oscilador local de 1974.875 Mhz; obteniendo así la frecuencia esperada de 4200.125 Mhz.

La tabla 2.3 tiene relacionados los valores característicos del CMD TLT.

Visualizamos en el diagrama de la figura 2.7 que para la primer etapa mezcladora, la señal 247 Mhz pasa primeramente por un amplificador para tener el nivel adecuado y entonces suprimir el barrido de la señal de RF de entrada. En la segunda etapa mezcladora se requiere primeramente de un oscilador de referencia de 89.767 Mhz que multiplicado por 22 obtenemos 1974.875 Mhz siendo ésta la frecuencia de la fuente de fase de amarre con un nivel de + 10 dBm.

Los detectores de cristal están operando como reportadores en el caso de que se diera la condición de falla en los osciladores locales. Los filtros utilizados son filtros pasa banda,



BARRIDO 247 MHz
 - 0.17 dB

FIG 2.7 COMMAND TEST LOOP TRANSLATOR

UNAM	ENEP. A.
TESIS PROFESIONAL	
MANUEL CUEVAS S	

centrados a las frecuencias de salida de cada etapa de heterodinación. Tanto en la entrada del CMD TLT y a la salida de éste, se tiene la facilidad de monitorear la frecuencia y nivel de las correspondientes señales.

RELACION DE DATOS CARACTERISTICOS DEL CMD TLT	
- Frecuencia de entrada.	Centrada a 6422 Mhz (DISII) ó 5928 Mhz (OMNI)
- Frecuencia de salida.	A4200.125 Mhz.
- Nivel de entrada.	De OdBm a -20 dBm
- Nivel de salida.	Para una señal de entrada a OdBm, ajustable de -28 dBm a -68 dBm
- Impedancia de entrada.	50 OHMS.
- Impedancia de salida.	50 OHMS.
- VSWR de entrada.	1.25:1 máximo.
- VSWR de salida.	1.2 :1 máximo.
- Entrada del mezclador.	Frecuencia de barrido centrado a 247 Mhz
- Impedancia del mezclador.	50 OHMS.
- VSWR de entrada del mezclador.	1.25:1 máximo.
- Pérdidas de conversión.	28 dB, con un atenuador de salida puesto a OdB
- Estabilidad de frecuencia.	$\pm 1 \times 10^{-6}$, por día. $\pm 5 \times 10^{-6}$, 0°C a + 50°C
- Salidas espurias armónicas.	60 dBc mínimo, relativo a la potencia de salida.
- Requerimientos para alimentación.	220 VAC, 60 Hz.

TABLA 2.3

SISTEMA CONVERTIDOR DE SUBIDA AGIL.

El Agile Upconverter (AGILE U/C) o convertidor de subida ágil, juega un papel importante dentro del sistema de radiofrecuencia para el enlace ascendente, ya que debido a que sólo se utiliza con los equipos de la antena de 12 m. TTAC proporciona gran versatilidad a esta antena, por la mayor gama de frecuencias seleccionables que puede manejar 500 Mhz y por lo tanto es factible la realización de pruebas en los diferentes transpondedores de los satélites Morelos I y II. Estos equipos no operan en las antenas de 11 m B y C.

Técnicamente el AGILE U/C es un sistema que traslada una banda de entrada de 40 Mhz., con frecuencia central de 70 Mhz, la cual es elevada a una frecuencia de salida en la banda de 5925 Mhz a 6425 Mhz, obteniendo un ancho de banda de 500 Mhz. Para tal fin se emplea un sistema de doble heterodinación o conversión de frecuencia. Cabe hacer notar que la fuente de referencia utilizada para la selección de frecuencias del convertidor AGILE U/C, es mediante un sintetizador de frecuencias.

Observando la figura 2.8, la cual es el diagrama a bloques correspondiente al AGILE U/C, notamos que en la primera conversión de frecuencia, se usa como fuente al oscilador local (OL) de 1030 Mhz con mezclador de rechazo de imagen; de tal suerte que con la señal suma de los 70 Mhz de entrada y con la frecuencia del primer OL, obtendremos 1100 Mhz. Dicha señal es filtrada y amplificada. Antes de pasar a la segunda etapa de heterodinación, se puede proporcionar un ajuste de nivel mediante un diodo atenuador PIN.

En la segunda etapa de heterodinación, se requiere de otra fuente que es el oscilador local ágil de 4825 Mhz a 5325 Mhz, sintonizable a pasos de 1 Khz, para convertir los 1100 Mhz obtenidos anteriormente, a la banda de salida que va de 5925 Mhz a 6425 Mhz en el segundo mezclador con rechazo de imagen. La frecuencia de salida de este mezclador es nuevamente filtrada y amplificada.

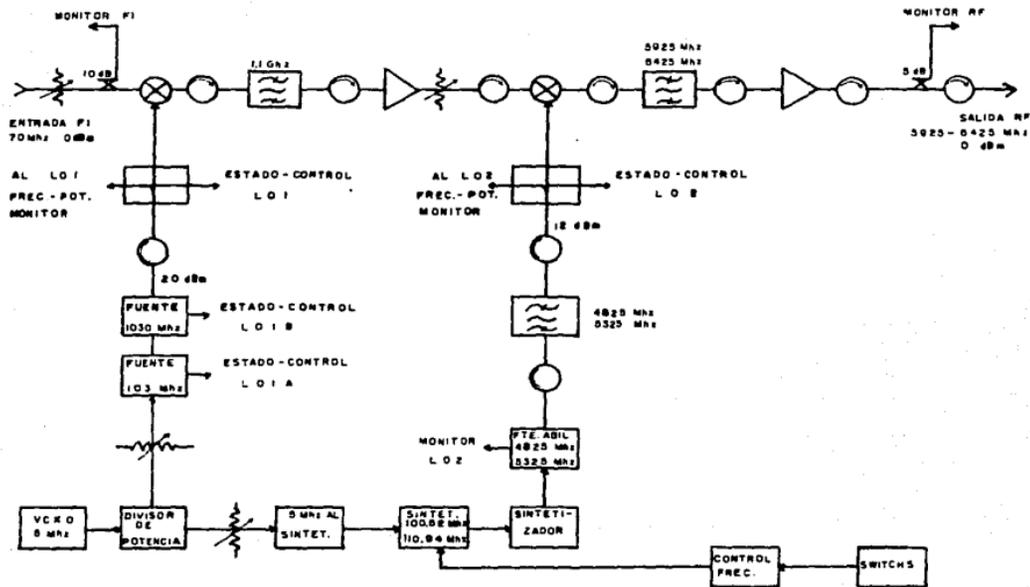


FIG. 2.8 DIAGRAMA A BLOQUES DEL AGILE UPCONVERTER

U N A M. I. N. E. P. A.
 TESIS PROFESIONAL
 MANUEL CUEVAS S.

Todas las fuentes involucradas en el proceso de la señal, son de fase de amarre a un oscilador común de cristal controlado por voltaje (VCXO) de 5 Mhz, proporcionando así alta estabilidad y bajo ruido.

Volviendo hacia la primera etapa de mezclado y auxiliandonos nuevamente de la figura 2.8 se aprecia que hay un OL que consiste de una fuente de fase de amarre a 103 Mhz, el cual toma como fuente de referencia al VCXO de 5 Mhz. La fuente de 103 Mhz es la entrada de referencia para la fuente de 1030 Mhz.

La salida del segundo OL es derivada del sintetizador, el cual se amarra a la fuente de referencia común de 5 Mhz (VCXO). La frecuencia de operación del sintetizador es de 100.52 Mhz a 110.94 Mhz.

En la tabla 2.4 se presentan las características técnicas más importantes del AGILE U/C.

SISTEMA AMPLIFICADORES DE ALTA POTENCIA (HPAs)

Dentro de la cadena de enlace ascendente, se encuentra el subsistema de transmisión, integrado por equipos y componentes que permitirán amplificar la señal proveniente de los COMMAND U/C o AGILE U/C a un nivel de potencia suficiente (PIRE) para alcanzar la densidad de flujo requerida en los satélites. La señal amplificada es llevada al sistema alimentador de la antena y ésta a su vez, entrega la señal de información a la antena (directiva) de alta ganancia (TC o TTAC), para ser radiada al satélite.

Los HPAs (Amplificadores de alta potencia) utilizados en el Sistema Morelos, Trabajan en la banda C de comunicaciones y su objetivo es el de transmitir señales de comando, rango o datos a los dos satélites en órbita geoestacionaria. Para el caso particular de la TTAC, se podrá transmitir a satélites que se encuentran en órbita de transferencia y estén en línea de vista.

CARACTERISTICAS TECNICAS.

- Frecuencia de entrada	70 Mhz (Fo)
- Frecuencia de salida.	5925 a 6425 Mhz
- Ancho de banda de la señal de entrada.	40 Mhz centrada en Fo
- Ancho de banda de la señal de salida.	500 Mhz
- Nivel de salida	0dBm, ± 1.5 dB
- Estabilidad del nivel de salida	± 0.3 dB/24 Hrs A temperatura CTE.
- Nivel de la señal de entrada.	0dBm ± 1.5 dB
- Salida de las señales espurias (armónicas).	≥ 50 dBc abajo de la portadora
- Impedancia de salida.	50 Ω (OHMS)
- VSWR entrada	1.2/1
- VSWR salida.	1.2/1
- Figura de ruido.	≤ 24 dB, máximo nivel de salida
- Alimentación.	220 V CA ± 10 % 60 Hz.

TABLA 2.4

En términos generales el subsistema de transmisión está integrado por: Líneas de transmisión; amplificadores de alta potencia; sistemas de conmutación de RF; estado, control y monitoreo de entradas y salidas; sistemas de enfriamiento; fuentes de energización; circuitos de protección; y los tubos electrónicos de transmisión para microondas.

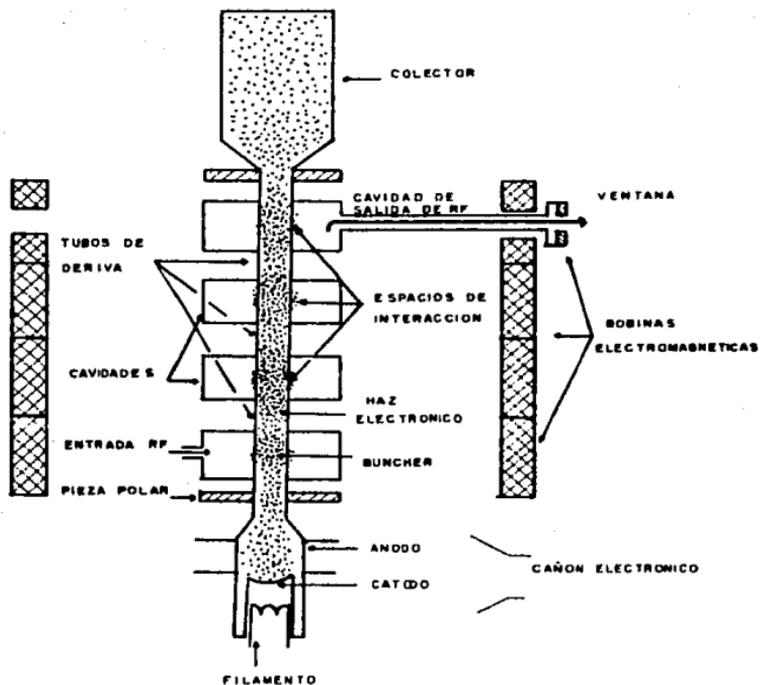
Estos tubos para transmisión pueden ser de dos tipos, los Tubos de Ondas Progresivas (TOP) llamadas también TWT (Traveling Wave Tube) o bien los Klystron. Los HPAs en las casetas de comunicaciones B y C utilizan tubos de ondas progresivas. En cuanto a los HPAs de la antena TTAC, utiliza el tubo Klystron con doce cavidades para sintonizar. Tanto los Klystron como los TWT se clasifican en tubos de haces lineales de microondas, los cuales tienen el principio de "modulación de velocidad", resolviendo así el problema de "tiempo de tránsito" entendiéndose este concepto como el tiempo que tarda un electrón para trasladarse del cátodo a la placa.

KLYSTRON.

Básicamente un tubo klystron está constituido de los siguientes elementos: Cañón de electrones, Dispositivos de enfoque, Tubo de Conducción, Cavidades de RF y un colector. La figura 2.9 muestra en detalle la construcción interna de un klystron.

El klystron, tubo amplificador esencialmente, contiene en el espacio comprendido entre cátodo y colector una serie de cavidades de RF cuyo desempeño es equivalente al de un circuito tanque LC y de su sintonía depende fundamentalmente su ancho de banda y su ganancia; entre mayor sea el número de cavidades, (en nuestro caso particular 12 cavidades) mayor es el ancho de banda que pueda manejar. Las cavidades de RF están unidas entre sí mediante los tubos de conducción (Drift Tube).

Conforme los electrones son emitidos desde el cátodo, hacia el colector, cruzan primeramente la región del electrodo de enfoque (ánodo) el cual suele estar al mismo potencial del cátodo o ligeramente más negativo que éste, de tal manera que los electrones



UNAM	ENEP A.
TESIS PROFESIONAL	
MANUEL CUEVAS S.	

FIG. 2.9 SECCION ESQUEMATICA DE UN KLYSTRON.

emitidos, repeliéndose unos contra otros, se ven forzados a concurrir en forma de haz a la apertura de entrada del tubo de conducción; la pieza polar de preenfoque actúa igual que una lente magnética para dirigir y concentrar el haz de electrones antes de que éste entre al campo magnético principal.

El dispositivo de enfoque principal constituido de un imán o electroimán, tiene por finalidad producir un campo magnético axial a lo largo de la trayectoria comprendida entre el ánodo y el colector, por medio del cual se logra concentrar el haz de electrones y así evitar la repulsión mutua debida a la naturaleza negativa de sus cargas.

El haz de electrones dirigido hacia un alto potencial positivo aplicado al colector, pasa frente a una serie de cavidades resonantes empezando por la cavidad de entrada que se encuentra ubicada cerca del ánodo y terminando en la cavidad de salida colocada cerca del colector y conocida también como cavidad recolectora. Entre las cavidades de entrada y salida pueden existir hasta doce cavidades intermedias dependiendo ésto de la aplicación específica del tubo.

La señal de RF que va a ser amplificada, es aplicada a la cavidad de entrada por medio de una guía de onda o bien mediante un cable coaxial, así la señal de RF alimentadora excitará a las paredes de la cavidad, generando corrientes de oscilación que establecen un voltaje en las aperturas de la cavidad. Conforme el haz de electrones pasa frente a la apertura, su velocidad se verá alterada alternativamente, acelerándose y frenándose de acuerdo a los cambios de polaridad en el voltaje de la señal de RF presentes en la apertura de la cavidad. En este punto el haz de electrones es modulado en velocidad y los electrones con mayor aceleración alcanzarán a aquellos que han sido frenados, dando lugar a la formación de grupos de electrones (Bunching) en el interior de los tubos de conducción. La cavidad de entrada también es conocida como cavidad de agrupamiento.

Las cavidades intermedias aprovechan la presencia de los grupos de electrones que previamente han sido formados para generar una corriente de oscilación que contribuye al aceleramiento y retardo de grupos, dando como resultado final grupos de electrones con ma-

por densidad (esta condición se denomina modulación por densidad).

La energía puede ser extraída del haz de electrones de la misma manera como el haz fué modulado en velocidad originalmente; el grupo denso que concurre a la cavidad de salida producirá un flujo de corriente alterna conforme a las variaciones de la señal de RF de entrada, acelerando a las porciones menos densas y frenando a aquellos con mayor densidad dando como resultado una liberación de energía mucho mayor que la consumida en el frenado y aceleración, la energía obtenida de esta manera desde el haz de electrones es transferida al circuito de carga acoplado a la cavidad de salida.

Para obtener una eficiente amplificación en un tubo klystron es necesario que la cavidad de entrada resuene a la frecuencia de la señal que se va amplificar, haciendo que su impedancia expresada en términos de la relación de onda estacionaria (R.O.E.) sea baja, sin embargo para frecuencias que estan ligeramente desviadas de la frecuencia central, la relación de onda estacionaria es demasiado grande.

En la figura 2.10 observamos la respuesta del HPA con tubo klystron, en función de la potencia de salida con respecto a la potencia de entrada. Por último mencionaremos que en el tubo klystron es posible obtener una respuesta a la señal de RF de alta resonancia (Q), mayor eficiencia y potencia, reduciendo el ancho de banda de operación.

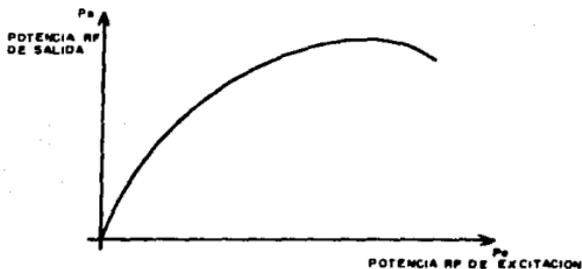


FIG 2.10 RESPUESTA DEL HPA

TUBOS DE ONDAS PROGRESIVAS (TWT ó TOP).

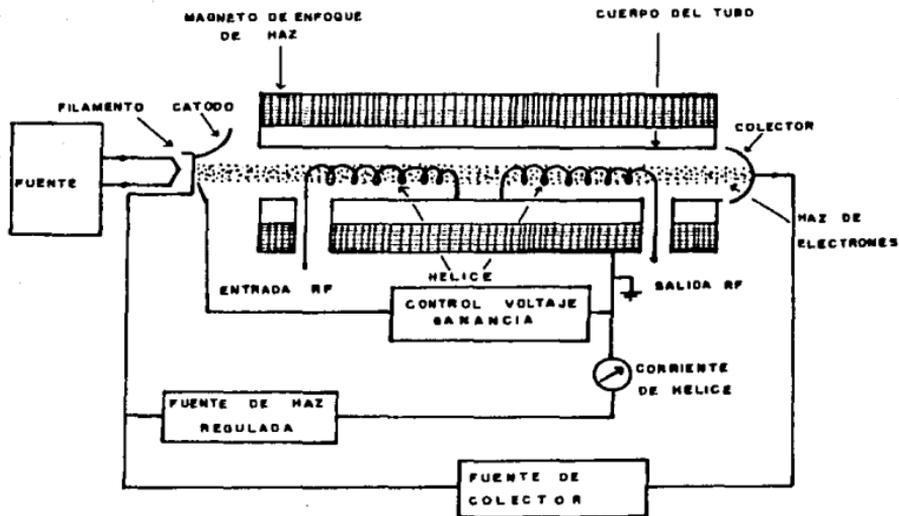
Un tubo de ondas progresivas posee cualidades muy particulares entre las cuales podemos enunciar las siguientes:

- a) Capaz de amplificar una señal comprendida en un gran ancho de banda sin necesidad de alterar sus parámetros y su estado físico de operación.
- b) Alta ganancia.
- c) Capacidad para manejar una alta potencia.
- d) Alta eficiencia.
- e) Buenas características en la señal amplificada.

Un tubo de ondas progresivas consiste esencialmente de los siguientes elementos principales a saber; mismos que se muestran en la figura 2.11

- a) Cañón de electrones, constituido por el cátodo y filamentos.
- b) Estructura de interacción entre la señal de radiofrecuencia y el haz de electrones, conocido con el nombre común de hélice y dependiendo de su forma física puede adquirir otros nombres como: Barra de anillo, Circuitos de anillos ó Cavidad acoplada.
- c) Estructura de enfoque magnético.
- d) Colector.
- e) Fuente de alimentación y controles.

En un caso ideal, cuando una señal de microondas es aplicada a la entrada de la estructura de RF, ésta origina una onda de RF que viaja en dirección del circuito de salida, en términos generales cuando la estructura de interacción de la señal de RF, es una de tipo hélice, el haz de electrones que se desplaza en su interior viaja a una velocidad ligeramente mayor que la onda de RF. Dependiendo de la fase de la señal de microondas con respecto al tiempo, los electrones se incorporan al circuito de RF.



UNAM	ENEP.A.
TESIS PROFESIONAL	
MANUEL CUEVAS S.	

FIG. 2.11 ESQUEMA DE UN TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS TÍPICO.

De esta manera algunos electrones serán acelerados y otros serán frenados, formando agrupaciones de electrones dentro del haz, la corriente en el haz de electrones viene a ser modulada con la señal de RF y los grupos formados de electrones (Bunching) reaccionan con los campos de RF creados por las ondas de señal que se desplaza a lo largo de la hélice. Una transferencia de energía toma lugar de tal suerte que causa una pérdida de energía cinética del haz, al ser éste frenado. La energía perdida del haz es convertida a energía de radiofrecuencia sobre la hélice de tal forma que se incrementa continuamente, conforme el haz de electrones y la onda de RF viaja a lo largo de la longitud del tubo.

A causa de que esta interacción es obtenida sin el uso de cavidades resonantes, da como resultado la más importante ventaja del tubo de ondas progresivas y que es su gran ancho de banda, que puede manejar (500 Mhz).

En la figura 2.12 visualizamos las características de transferencia de potencia del tubo de ondas progresivas, donde la entrada y salida están en dB relativos al punto de saturación. Así también se observan los puntos de operación: BACKOFF de entrada (BOE) y BACKOFF de salida (BOS).

Por último en esta sección, veremos un diagrama de bloques de un amplificador de alta potencia en función de un TWT. En esta figura 2.13 se muestran los componentes principales típicos que lo constituyen.

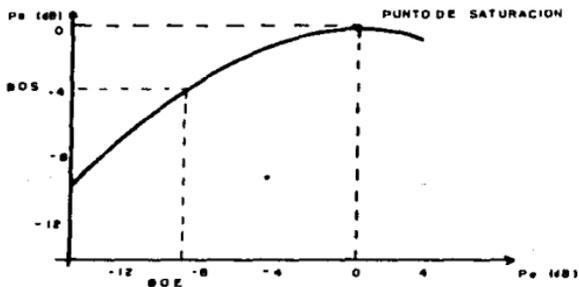


FIG. 2.12 TRANSFERENCIA DE POTENCIA DEL TWT.

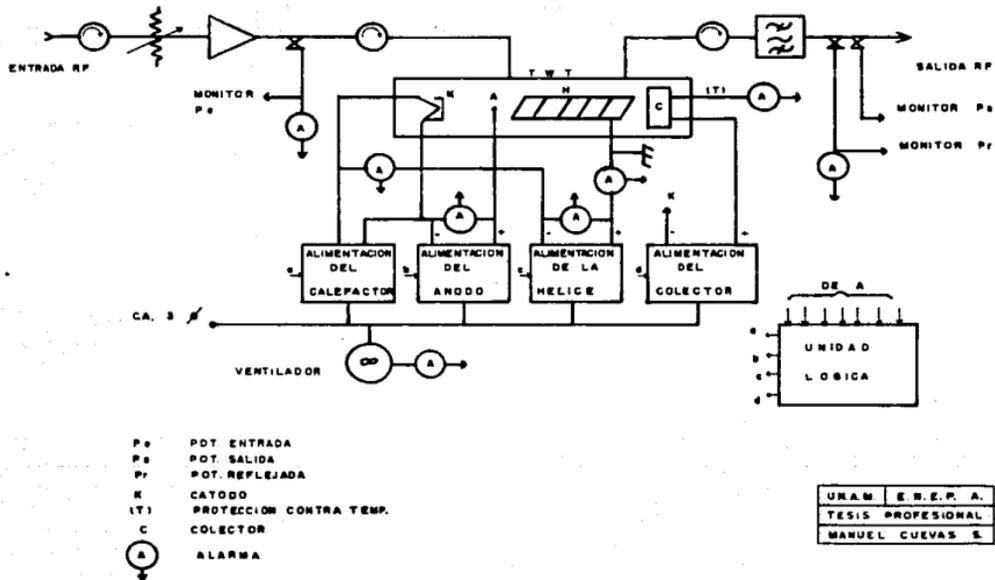


FIG. 2.13 DIAGRAMA DE UN AMPLIFICADOR DE POTENCIA TWT.

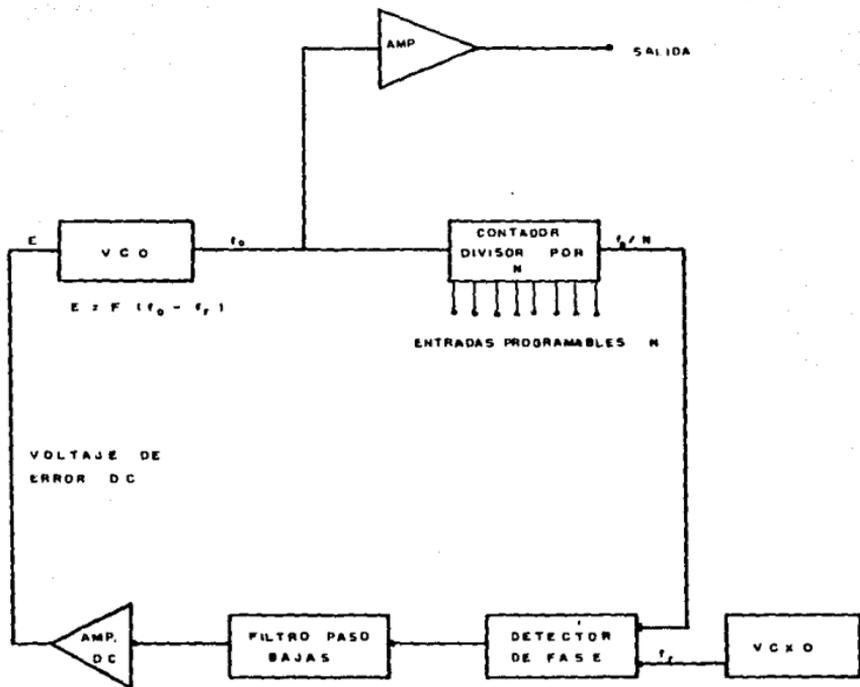
SINTETIZADOR DE FRECUENCIAS.

Los sintetizadores de frecuencias utilizados en el sistema de Radiofrecuencia, sólo están directamente relacionados con los convertidores de subida y bajada ágiles, con sus respectivas modalidades, por lo que sirven de base para la selección de frecuencias comprendidas en la banda de 5.925 Ghz a 6.425 Ghz en el caso de enlace de subida y para las frecuencias de 3.7 Ghz a 4.2 Ghz si es para el enlace de bajada; siendo entonces las frecuencias de operación del sintetizador de frecuencia de 100.52 Mhz a 110.94 Mhz cuando se emplea en la fuente ágil de 4825 Mhz a 5325 Mhz del Agile U/C y de 100.0 Mhz a 110.4 Mhz generando con esto la fuente ágil de 4800 Mhz a 5300 Mhz del Agile D/C, para el enlace de bajada. En cualquiera de estos casos, el sintetizador está amarrado a una fuente de referencia, siendo ésta un oscilador a cristal de 5 Mhz.

Al observar los diagramas a bloques de los convertidores ágiles tanto el de subida (figura 2.8) como el de bajada (figura 2.17), podremos ubicar la interrelación dada. En el caso del Agile U/C, la salida del sintetizador es la entrada de referencia para la fuente ágil de 4825 Mhz - 5325 Mhz, formando parte de la segunda heterodinación; ahora en el Agile D/C, la salida del sintetizador será la entrada de referencia para la fuente ágil de 4800 Mhz - 5300 Mhz, formando esto parte de la primera etapa de heterodinación. Cabe mencionar que las frecuencias de las dos fuentes ágiles se obtienen al multiplicar las frecuencias del sintetizador por un factor de 48.

Por lo anterior, los convertidores ágiles utilizan sintetizadores de frecuencia de rango ancho que trabajan con base a circuitos llamados "Phase Locked Loop" (PLL), para generar las frecuencias de salida necesarias y realizar las diferentes selecciones de éstas.

Un diagrama a bloques simplificado de un circuito PLL está representado en la figura 2.14. Como se aprecia, los componentes principales de un circuito PLL son: Un oscilador controlado por voltaje (VCO); un contador divisor por N; un detector de fase; un oscilador de cristal controlado por voltaje (VCXO) de referencia, que para nuestro caso es de



UNAM	ENEP A
TESIS PROFESIONAL	
MANUEL CUEVAS S.	

FIG. 2.14 DIAGRAMA A BLOQUES DE UN SINTETIZADOR PLL.

5 Mhz; un filtro paso baja (FPB) y un amplificador de DC. Con este arreglo obtenemos frecuencias de salida estables con bajas señales espurias y muy bajo ruido de fase. La teoría de operación generalizada es la que a continuación se menciona.

El VCO oscila a una frecuencia f_0 de RF, la cual es el resultado de una función de control de voltaje E de dc. Este voltaje E es creado al comparar la frecuencia de salida del contador divisor por N (una subarmónica de f_0) con respecto a una baja frecuencia de señal del oscilador de referencia. Un circuito detector de fase lleva a cabo esta comparación.

El contador divisor por N , es un circuito contador digital que divide la frecuencia de entrada f_0 mediante un integrador N . La razón de división es puesta por la palabra binaria aplicada a la entrada del programa N del contador. La salida del contador puede ser una frecuencia que sea igual a f_0/N .

La salida del contador N y la salida de referencia (f_r) de baja frecuencia (5 Mhz) son aplicados a las entradas opuestas del circuito detector de fase. Si f_r es igual a f_0/N , entonces el VCO oscilará a la frecuencia determinada por el amplificador de dc y la cifra N aplicada al contador. Pero si el VCO difiere, quiere decir que la comparación de las dos señales aplicadas al detector de fase no son iguales, por lo que el voltaje de error de dc en la salida del detector de fase, implicará los cambios de dirección y cantidad necesaria que permitan al VCO mantener la frecuencia deseada. El PLL hace que los cambios se corrijan constantemente a la frecuencia del VCO. La estabilidad y precisión de este tipo de generador de señal proviene esencialmente del oscilador de referencia de cristal, que como se ha mencionado para este caso es de 5 Mhz.

Los cambios de frecuencia deliberados pueden ser hechos mediante la programación del contador divisor por N a una razón de división diferente. Por último mencionaremos que el sintetizador de frecuencia utilizado cuenta con dos rangos de operación, uno de 1 Mhz a 12 Mhz y el otro de 10 Mhz a 160 Mhz, dando esto una gran versatilidad en su aplicación.

2.3 SISTEMAS DE RF PARA EL ENLACE DESCENDENTE.

GENERALIDADES.

Dentro de la cadena de sistemas de Radiofrecuencia para el enlace descendente, se tiene como objetivo el recibir la telemetría proveniente de los dos satélites Morelos; es decir, se establece así un subsistema de telemetría o telecontrol al estar monitoreando los "signos vitales" con los que se tiene el control de estos.

El propósito general de un sistema de telemetría es el de realizar mediciones a distancia. En el telecontrol se incluyen actuadores que realizan cambios en las condiciones de un punto remoto que para este caso es el satélite donde se está midiendo o monitoreando. Para este fin en adición al canal de medición que se emplea en la telemetría (cadena descendente), se cuenta con otro canal o cadena ascendente para el envío de los tonos de rango y acciones a tomar mediante comandos necesarios (ordenamientos). Asociado a la telemetría se emplea el subsistema de cómputo con el fin de formar archivos de datos, que se pueda acceder, desplegar fácilmente y realizar algún tipo de proceso o análisis de la información obtenida. Antes de pasar a la parte de cómputo, la señal de los "beacons" en los cuales viene la telemetría, es procesada primeramente por el subsistema de telemetría del CCS.

Generalmente en los satélites de comunicaciones Morelos, se tendrá un transmisor de telemetría que envía la información (datos) colectados de varios sensores incorporados en la parte de giro y no giro del satélite hacia la tierra para el monitoreo de estos. Los principales parámetros sensados son:

- Presión en los tanques de combustibles.
- Cuerda norte y cuerda sur de la tierra.
- Voltajes en las celdas de las baterías.
- Potencia consumida por los subsistemas.
- Velocidad de giro.

- Posición de switches.
- Temperatura de estructuras.
- Datos del sensor de sol.

Los datos de telemetría enunciados anteriormente, pueden ser procesados simultáneamente por el subsistema de telemetría del CCS, el cual recibe cuatro señales de FI de 70 Mhz, que estos a su vez provienen de los convertidores de bajada (TLM D/C ó AGILE D/C) de la estación terrena. Cada entrada de 70 Mhz consiste de un par de señales "beacon" cercanos a los 70 Mhz por cada satélite. Una señal del par de "beacons" (B2) es común para ambos satélites. El otro "beacon" es único por cada satélite. Las frecuencias de FI de los "beacons" están definidas en la tabla 2.5

SPACECRAFT		BEACON	FI (Mhz)
MORELOS I	F1	B1	69.0
	F2	B2	69.5
MORELOS II	F2	B1	68.5
	F2	B2	69.5

Tabla 2.5

Cada par de "beacons" recibidos están dedicados específicamente a captarse por las antenas de 11 m, A (Mor. I) y B (Mor. II). Sin embargo cada par de "beacons" recibidos pueden ser switcheados alternadamente hacia la antena de respaldo TTAC. Lo anterior permite que la recepción de datos de telemetría sean recibidos a través de cualquier antena.

A continuación tenemos dos tablas que muestran a los sistemas de RF relacionados con la cadena de enlace descendente para recibir telemetría mediante las antenas de TC y TTAC.

Relación de sistemas de RF para el enlace descendente empleados por el sistema de 11 m (T C)

SISTEMA DE RF	CANTIDAD
TELEMETRY DOWN CONVERTER (Convertidor de bajada para telemetría)	4
COMMAND TEST LOOP TRANSLATOR (Trasladador de malla de prueba)	2
AMPLIFICADORES DE BAJO NIVEL DE RUIDO (LNAS)	2
ANTENA TRACKING AND COMMAND (T C) (Antena para rastreo y comando)	2

Tabla 2.6 (a)

Relación de sistemas de RF para el enlace descendente empleados por el sistema de antena de 12 m, (TTAC)

SISTEMA DE RF	CANTIDAD
ANTENA TTAC 12 m	1
COMMAND TEST LOOP TRANSLATOR (Trasladador de malla de prueba)	1
TELEMETRY DOWN CONVERTER (Convertidor de bajada de telemetría)	1
FREQUENCY SYNTHESIZER (Sintetizador de frecuencia)	2
AMPLIFICADORES DE BAJO NIVEL DE RUIDO (LNAS)	4

Tabla 2.6 (b)

SISTEMA CONVERTIDOR DE BAJADA PARA TELEMETRIA.

En estos párrafos tendremos la información sobre los principios de operación del Convertidor de Bajada para Telemetría o Telemetry Downconverter (TLM D/C), unidad perteneciente al sistema de Radiofrecuencia. Este convertidor de bajada para telemetría, pertenece a la cadena de enlace descendente, ya que cumple la función de trasladar una banda de 10 Mhz con una frecuencia de entrada centrada a 4200.125 Mhz (\pm 5 Mhz) para obtener la frecuencia de salida de 70 Mhz \pm 5 Mhz. Cabe señalar que las frecuencias RF de entrada en donde viene la telemetría son de :

(B 1) 4199.125 Mhz

y

(B 2) 4199.625 Mhz

Las cuales representan los "beacons" del satélite Morelos I. Por otro lado las frecuencias a la salida, es decir, después de haber hecho el traslado en frecuencia, se obtendrán respectivamente en banda base:

(B 1) 69.0 Mhz

y

(B 2) 69.5 Mhz

En las figuras 2.15 (a y b) se muestran los espectros de estas señales, tanto de entrada como de salida.

Las frecuencias antes mencionadas son exclusivas para el Morelos I. En cuanto a las frecuencias del satélite Morelos II, tenemos las siguientes:

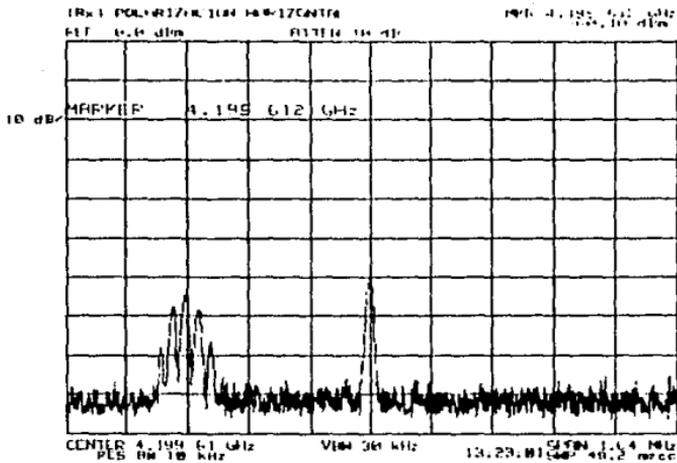


FIG. 2.10 (a) SEÑAL DE ENTRADA DEL TLM D/C

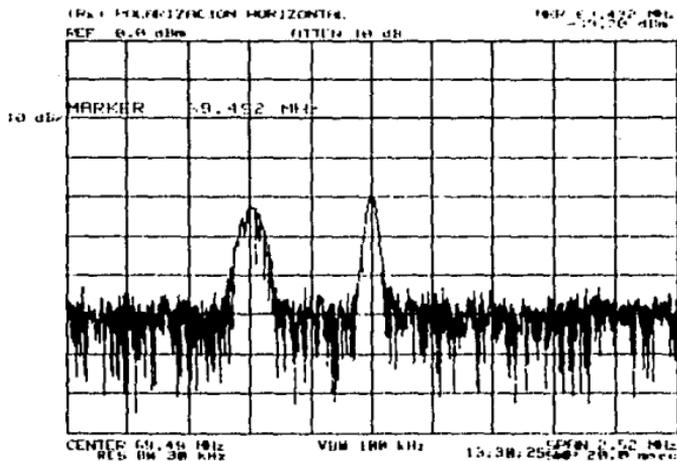


FIG. 2.10 (b) SEÑAL DE SALIDA DEL TLM D/C

Frecuencia RF de entrada al TLM D/C	Frecuencia de salida del TLM D/C
B 1 4198.625 Mhz	68.5 Mhz
B 2 4199.625 Mhz	69.5 Mhz

Hay que recordar que la frecuencia de 69.5 Mhz es común para ambos satélites.

Para hacer el traslado de las frecuencias anteriores, ya sea para el Morelos I o Morelos II, se requiere de un sistema de doble conversión. Este sistema operativo se explica con la ayuda del diagrama a bloques mostrado en la figura 2.16.

La RF de entrada primeramente alimenta a un aislador para acoplar el sistema de entrada, posteriormente va a un filtro paso banda (FPB) con el fin de eliminar las señales fuera de banda.

Un mezclador de rechazo de imagen es usado para la primera conversión. Un oscilador local de 5300 Mhz convierte para el caso de que la RF de entrada fuera de 4200.125 Mhz en 1099.875 Mhz utilizando para tal efecto la señal resta.

Se observa en el diagrama de la figura 2.16 que todas las fuentes de fase de amarre, están en función a un oscilador de referencia de 5 Mhz (VCXO) con características de bajo ruido. La entrada de 5 Mhz de referencia alimenta a un divisor de potencia. Una derivación del divisor de potencia alimenta a una fuente VCXO multiplicador de 265 Mhz (OL). Este oscilador actúa como referencia de entrada a la fuente de fase de amarre de los 5300 Mhz, frecuencia generada al multiplicar por 20 los 265 Mhz. La fuente de 5300 Mhz es utilizada para la primera conversión con base en las demás referencias.

La señal de salida del primer mezclador alimenta a un amplificador de bajo ruido y a un FPB centrado en 1099.875 Mhz el cual rechaza todas las señales fuera de banda. En la siguiente etapa se cuenta con un atenuador PIN para controlar la ganancia de la señal.

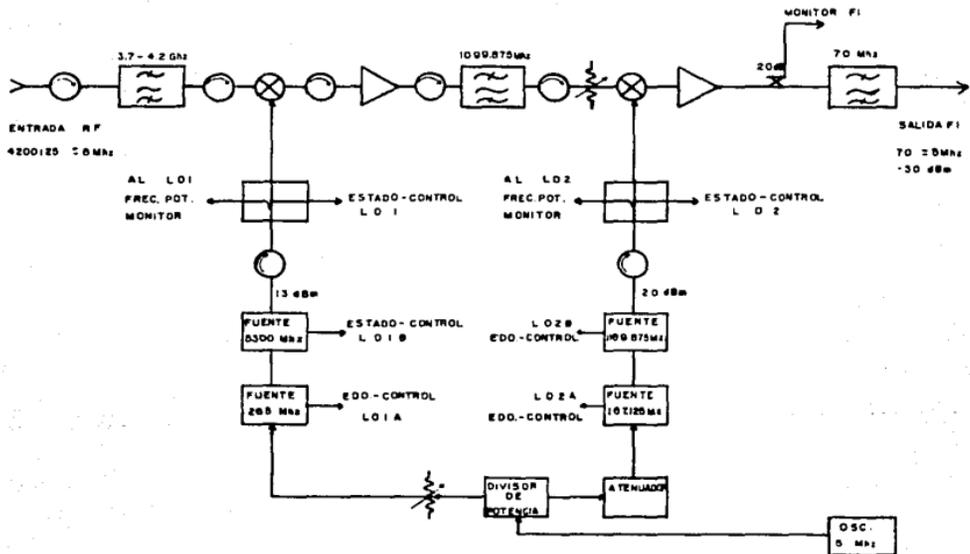


FIG. 2.18 DIAGRAMA A BLOQUES DEL TLM D/C.

UNAM	ENEP A
TESIS PROFESIONAL	
MANUEL CUEVAS S	

En la segunda conversión un OL de 1169.875 Mhz es utilizado para convertir la señal de 1099.875 Mhz a la frecuencia de 70 Mhz al emplear la señal resta. La señal de salida del mezclador es amplificada y filtrada.

Por último en esta segunda etapa de procesamiento se requiere de un OL consistente de una fuente de fase de amarre de 167.125 Mhz, la cual a su vez, está en función a la fuente de referencia de 5 Mhz. La fuente de 167.125 Mhz es utilizada como la referencia de entrada para la fuente de fase de amarre de 1169.875.

La tabla 2.7 muestra algunas de las características de operación.

SISTEMA CONVERTIDOR DE BAJADA AGIL.

El Agile Downconverter (AGIL D/C) o también llamado convertidor de bajada ágil, es un sistema de Radiofrecuencia comprendido en la cadena descendente. Dicho sistema recibe y convierte las frecuencias contenidas en la banda de 3.7 Ghz a 4.2 Ghz a la frecuencia de BB de 70 Mhz. Esto tiene por objeto el realizar enlaces de comunicaciones; pruebas en los diferentes transpondedores de banda C del satélite "Morelos", al poder barrer un ancho de banda (B) de 500 Mhz; por otro lado el Agile D/C es un camino alterno para el procesamiento de la telemetría.

Un proceso de doble heterodinación es utilizado para realizar el traslado de frecuencia. La frecuencia de operación se puede manipular mediante switches llamados "thumbwheel" ubicados en el panel frontal de esta unidad. Cabe señalar que tiene el calificativo de "ágil" debido a que es factible hacer la selección de diversas frecuencias comprendidas en el ancho de banda antes señalada.

Al igual que en el ágil U/C, la fuente de referencia utilizada para hacer posible la selección de la frecuencia deseada, es mediante el funcionamiento interactivo de un sintetizador de frecuencias, el cual proporciona alta pureza espectral y la característica de

CARACTERISTICAS DE OPERACION TLM D/C.

- Frecuencia de entrada	4200.125 Mhz \pm 5 Mhz
- Frecuencia de salida	70 Mhz \pm 5 Mhz
- Ganancia	20 dB \pm 1.5 dB
- Ganancia de rizo	\pm 0.2 dB sobre banda ancha centrada en 5 Mhz y 0.5 dB sobre banda ancha centrada en 10 Mhz
- VSWR de entrada	1.2 : 1 máximo
- VSWR de salida	1.2 : 1 máximo
- Rechazo de imagen	50 dB mínimo
- Punto de intercepción de tercer orden (Referido a la entrada)	-14 dBm
- Salidas espurias	Espurias mínimas de 60 dBc para un nivel de entrada de RF de -30 dBm máximo
- Figura de ruido	25 dB máximo
- Nivel de estabilidad	\pm 0.25 dB/semana a temperatura constante
- Ganancia de compresión:	1.0 dB máximo para - 24 dBm de entrada.
- Alimentación	220 V AC \pm 10 % 60 Hz \pm 5 %

TABLA 2.7

bajo ruido. Este equipo está descrito en la sección "Sintetizador de Frecuencia".

Para poder entender con más facilidad el funcionamiento operativo del Agile D/C, nos auxiliaremos del diagrama a bloques etiquetado con la figura 2.17.

En la primera conversión se requiere de una fuente ágil, siendo este un OL de 4800 a 5300 Mhz sintonizable a pasos de 1 KHz. Este OL es utilizado conjuntamente con la frecuencia de entrada contenida en la banda de 3.7 a 4.2 Ghz, para obtener 1100 Mhz a la salida del mezclador de rechazo de imagen. La señal proveniente de este primer mezclador es amplificada y filtrada.

La segunda mezcla que sufre la señal, es debida a un OL de 1170 Mhz, mismo que es utilizado para trasladar la señal de 1100 Mhz, resultante de la primera mezcla, a la frecuencia de 70 Mhz. Nuevamente la señal resta obtenida es amplificada y filtrada.

En este sistema, tanto la fuente ágil como las fijas tienen su fase de amarre a un oscilador común de 5 Mhz, proporcionando con ello alta estabilidad y el menor nivel de ruido posible. Esta referencia común es un oscilador de cristal de 5 Mhz controlado por voltaje (VCXO).

Volviendo una vez más a la primera etapa de heterodinación, se observa que el primer OL está derivado del sintetizador, el cual está "amarrado" a la fuente de referencia común de 5 Mhz. En otras palabras, la salida del sintetizador (100 a 110.4 Mhz) es la entrada de referencia para la frecuencia ágil de 4800 Mhz a 5300 Mhz.

Ahora el segundo oscilador consiste de un Phase Lock Source (PLS) de 130 Mhz, que a su vez está amarrado a la fuente de referencia de 5 Mhz. La fuente de 130 Mhz es usada como la referencia de entrada de la fuente de 1170 Mhz para la segunda mezcla.

A continuación se muestra la tabla 2.8 conteniendo los datos técnicos característicos de este sistema Agile D/C.

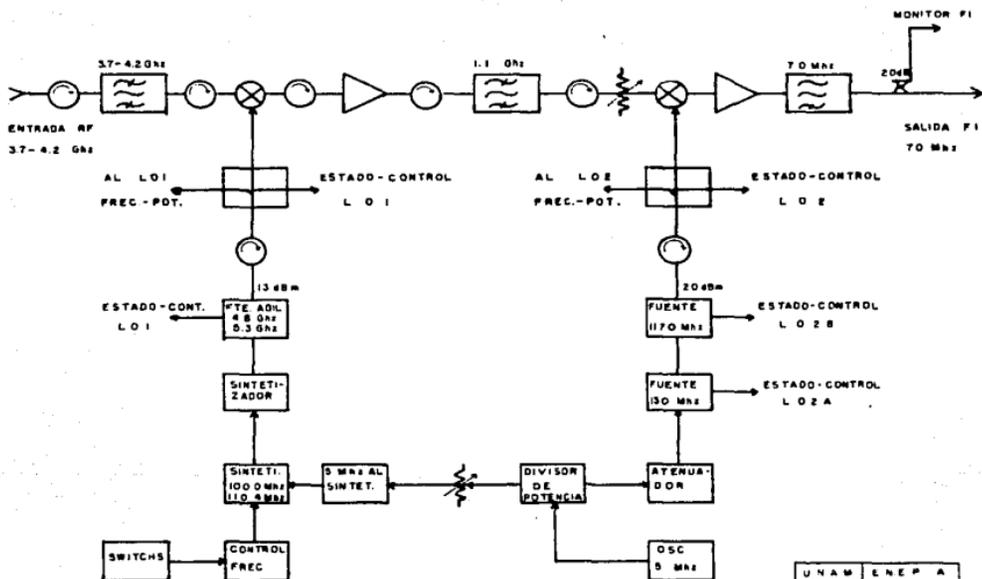


FIG. 2.17 DIAGRAMA A BLOQUES DEL ABILE DNCONVERTER

UNAM	ENEP	A
TESIS PROFESIONAL		
MANUEL CUEVAS S		

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL AGILE D/C.

- Frecuencia de entrada	3.7 a 4.2 Ghz
- Frecuencia de salida	70 Mhz [±] 20 Mhz
- Ganancia	20 dB [±] 1.5 dB
- VSWR de entrada	1.2 Máxima, 50
- VSWR de salida	1.2 Máxima, 75
- Salidas espurias	50 dBc Mínima
- Figura de ruido	15 dB Máxima
- Nivel de estabilidad	[±] 0.2 dB/24 a temperatura constante.
- Alimentación	220 VAC [±] 10 %

Tabla 2.8

AMPLIFICADOR DE BAJO NIVEL DE RUIDO (LNA)

Una de las partes importantes dentro de un sistema de comunicaciones, es la que viene integrada por parte del sistema amplificador de bajo ruido o amplificadores de señal pequeña, en la cadena de enlace descendente, para el procesamiento consecuente de la señal. Es por eso, que el uso de un adecuado LNA es fundamental para el diseño de una estación terrena. Básicamente existen tres tipos de amplificadores:

- 1) Amplificadores paramétricos.
- 2) Amplificadores a diodo tunel.
- 3) Amplificadores a base de transistores de efecto de campo (FET).

De los anteriores amplificadores, el último mencionado es el más moderno y empleado.

Los transistores de efecto de campo en los LNAs están conectados usualmente en cascada y son normalmente llamados por su composición como GaAsFET. Este tipo de amplificadores (GaAsFETs) son bastante buenos, de tal manera que ahora tienen suplantados a los amplificadores paramétricos y el de diodo túnel en la mayor parte. Los GaAsFETs tienen características únicas como son: Poco peso, pequeño tamaño y lo más atractivo que es su bajo costo; además proporcionan características superiores a aquellas que ofrece el amplificador a transistores bipolar en lo que respecta a características de RF, tales como bajo ruido, mayor gama de frecuencias y alta ganancia.

Las características principales de operación de los GaAsFETs son:

- El GaAs tiene una alta movilidad de los electrones y una alta velocidad de portadora saturada.
- La estructura del FET es relativamente simple y pueden formarse fácilmente patrones finos de aproximadamente 0.5 μm .
- Comparando con el ruido de disparo de un transistor bipolar, el ruido generado en el FET de GaAs se incrementa en menor cantidad a altas frecuencias.
- La capacitancia parásita puede reducirse empleando un GaAs semi-aislado como el sustrato.

En la tabla 2.9 se muestran las características de amplificadores típicos de bajo ruido.

La figura de ruido en los LNAs está dada en dB, y si quisieramos representarlo en $^{\circ}\text{K}$, será necesario utilizar las siguientes expresiones matemáticas:

$$\text{Antilog } (X\text{dB}/10) = F \quad (2.1)$$

$$F(\text{dB}) = 10 \log_{10} [1 + (T_N / 290 \text{ } ^{\circ}\text{K})] \quad (2.2)$$

$$T_N = (F - 1) \times 290 \text{ } ^{\circ}\text{K} \quad (2.3)$$

CARACTERÍSTICAS DE AMPLIFICADORES TÍPICOS DE BAJO RUIDO				
Característica.	Amp. paramétrico enfriado con helio.	Amp. paramétrico enfriado termoelectricamente.	Amp. a diodo tunnel.	Amp. Transistores de efecto de campo.
Temperatura de ruido (figura de ruido)	10 - 20 °K	35 °K mínima	600 °K	200 - 250 °K 70 °K mínima.
Ancho de banda	500 Mhz	500 Mhz	600 Mhz	3.7 - 4.2 Mhz 500 Mhz (800 Mhz)
Gainancia	30 dB	30 dB	10 dB	10 dB a 60 dB
Potencia de salida a saturación.	- 10 a - 5 dBm	- 10 a - 5 dBm	- 25 dBm	43 dBm
Sistema de enfriamiento.	enfriamiento por medio de helio (gas)	enfriamiento termoelectrico.	—	—
Mantenimiento	moderado	fácil	fácil	fácil

Donde:

- F : Factor de ruido.
 XdB : Es el factor en cuestión a transformar.
 F_{dB} : Figura de ruido.
 290 °K : Es la temperatura de la tierra.
 T_N : Es la temperatura de ruido.

En la figura 2.18 podemos observar un nomograma que nos representa la relación entre la figura de ruido y la temperatura de ruido.

2.4 SISTEMA DE ANTENA PARA TELEMETRIA, RASTREO Y COMANDO (TTAC).

Telemetry, Tracking and Command (comúnmente abreviadas TTAC) y que significan: telemetría, rastreo y comando respectivamente, son funciones con las cuales todos los satélites de comunicaciones pueden contar. La telemetría es necesaria para monitorear y evaluar el funcionamiento del satélite y proporcionar a los controladores y personal asociado, suficientes datos para operaciones de rutina de los satélites y diagnósticos de posibles fallas. De la misma forma, las funciones de telecomando son necesarias para el control de alguna iniciación de maniobras, cambios de estado o modo, también como partes de operaciones normales o para responder a una emergencia mediante acciones correctivas. Finalmente el rastreo es requerido para realizar correcciones o maniobras.

Por lo anterior, nuestro sistema de satélites "MORELOS" cuenta con una antena TTAC, la cual tiene la facilidad de llevar a efecto las funciones antes señaladas, durante la órbita de transferencia y órbita geostacionaria de los dos satélites. La figura 4.22 muestra la antena TTAC.

Este sistema de antena consiste de una antena de 12 m. de diámetro, tipo cassegrain

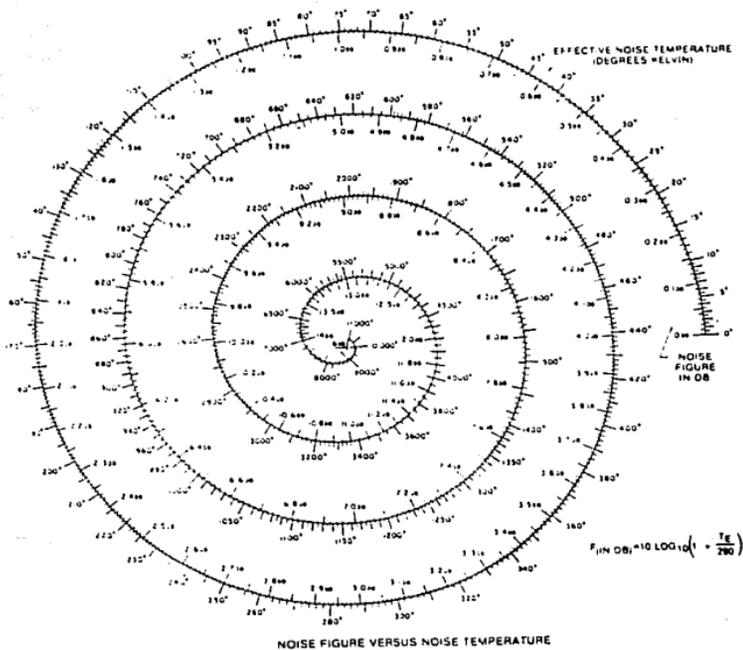


FIG 2 18 NOMOGRAMA FIGURA DE RUÍDO CONTRA TEMPERATURA DE RUÍDO.

con montura elevación sobre azimuth o ecuatorial. El pedestal instalado sobre el cual esta la antena, es de concreto reforzado el cual esta configurado para incluir una estructura base que provee el área necesaria para contener: Los racks con los equipos para el enlace ascendente y descendente; el gabinete con la electrónica de los servo-mecanismos; los amplificadores de alta potencia, así como otros equipos requeridos para la operación de la TTAC. El cubo de la antena contiene los LNAs, el convertidor de bajada para rastreo (tracking downconverter) y otros equipos asociados.

El reflector principal de la antena esta hecho de paneles formados de hojas de aluminio montados sobre una estructura de acero reforzado. Los paneles de la parábola estan alineados individualmente logrando tener una superficie parabólica exacta.

Otras ventajas que se pueden obtener de la antena TTAC del CCSSM son con base en los requerimientos funcionales que a continuación se detallan.

- Angulo de rastreo automático para cualquiera de las tres frecuencias (beacon) en el enlace de bajada con datos de telemetría y rango modulados en fase. Esta facilidad estará disponible para la órbita de transferencia y la órbita estacionaria.
- Capacidad para recibir simultaneamente polarización electromagnética horizontal y vertical. Rastreo automático seleccionando una u otra polarización.
- Reuso de frecuencia para la polarización lineal.
- Control de polarización manual.
- Capacidad de deslizamiento manual (manual).
- Provista de un programa de computadora en modo de rastreo y acepta rutinas de exploración generadas por la computadora.
- Provista de un modo de reserva (standby), con lo cual se logran frenos independientemente para cada eje.

- Capacidad para transmitir en forma simultánea o independiente polarización horizontal y vertical, debido al alimentador de cuatro puertos.
- Provista para inhibir automáticamente la transmisión cuando esta a menos de 5° de elevación, quedando así dentro de las normas del CCHR.
- Provista de alarmas audio/visuales.
- Provista de un control remoto para elevación/azimuth desde el pedestal de la antena.

Después de haber visto la versatilidad de la antena TTAC y valorar su importancia, presentamos ahora en la tabla 2.10 las características técnicas de operación correspondientes a esta antena.

- Tipo de antena	Parabólica, subsistema cassegrain.
- Montura de antena	Elevación sobre Azimuth.
- Apertura	12 m.
- Razón F/D	Consistente con G/Ts.
- Razón G/Ts (Ganancia a temperatura del sistema)	$30.8 + 20 \log (F/4) \text{ dB/}^\circ\text{K}$
- Ganancia de transmisión	$55.5 + 20 \log (F/6) \text{ dBi}$
- Capacidad Transmisión/Recepción	Simultáneo.
- Polarización en transmisión (Tx)	Vertical y horizontal.
- Polarización en recepción (Rx)	Vertical y horizontal.
- Discriminación en polarización	>35 dB
- Ancho de banda (BW) en transmisión	5.925 a 6.425 Ghz (500 Mhz)
- BW en recepción	3.7 a 4.2 Ghz (500 Mhz)
- Envoltente en Tx.	32 - 25 log (θ)
- Envoltente en Rx.	32 - 25 log (θ)
- Nivel de lóbulos laterales (Tx/Rx)	32 - 25 log (θ)
- Potencia de transmisión	6.0 KW

- Aislamiento Tx/Rx	Consistente con los requerimientos G/Ts.
- VSWR (Tx/Rx)	1.2 : 1 máximo.
- Modo Autotracking	Totalmente en monopulso.
- Exactitud en autotracking (Geostacionaria)	$\pm 0.006^\circ$, rms
- Exactitud en autotracking (Transferencia)	40.006° , rms
- Frecuencias de autotracking (Telemetría)	4198.625 Mhz. 4199.125 Mhz., 4199.625 Mhz.
- Programa del "modo track"	Control por computadora.
- Modo de movimiento manual	Caja de control remoto en pedestal y consola.
- Resolución de apuntamiento AZ/EL	$\leq 0.01^\circ$
- Modo de "Standby" (Control de ejes independientes)	Brakes puestas
- Velocidad de antena.	$1^\circ/s$
- Aceleración de antena	$1^\circ/s^2$
- Movimiento de la antena Azimuth	$\pm 170^\circ$
- Elevación	-1 a 92°
- Límites de la antena (AZ/EL)	Servo, eléctrico y mecánico (Límites únicamente en EL)
- Cargas de viento:	
Estado estable	Sobre 100/Km/H
Ráfaga	Sobre 140/Km/H
- Capacidad de frenado	Se mantiene en cualquier posición con vientos de 200/Km/H.

Tabla 2.10

Mencionaremos ahora que la antena TTAC del CCSM pertenece a la serie de antenas distribuidas sobre la tierra, formando así parte de la red TTAC, con el fin de asegurar el rastreo, la telemetría y los comandos de los satélites, para el período desde su lanzamiento del transbordador espacial (o sistema Ariane) hasta el fin de la misión en la órbita geostacionaria. Por lo tanto todas las estaciones de control (TTAC) deben estar habilitadas para cubrir todas las facetas de la órbita con base a la red y ser estaciones de respaldo unas de otras.

Por último, la figura 2.19 representa el diagrama a bloques de equipos de RF y enrutamientos de la señal asociados con la antena TTAC, asimismo observamos también la interface con el edificio de control.

2.5 SISTEMA DE ANTENA PARA TELEMETRÍA Y COMANDO (TC)

Además de haber visto el sistema de antena TTAC, mencionaremos que dentro de las instalaciones que existen en la ETCS, se encuentran dos sistemas de antenas parabólicas tipo cassegrain de 11 m. (B y C), donde la antena "B" es para la caseta 2 de comunicaciones denominada Iztapalapa 2 y la antena "C" forma parte de la caseta 3 de comunicaciones o Iztapalapa 3. Un modelo de este tipo de antena se presenta en la figura 2.20. El tipo de montura utilizado para ambas antenas es de elevación sobre azimuth, lo cual les permite maniobrabilidad para que el rastreo sea computible con los satélites quasi-estacionarios.

Estos sistemas de antenas están equipadas con interfaces de entrada/salida de FI/RF para ser utilizadas conjuntamente con los equipos del CCS y realizar las funciones de comando y recepción de telemetría, así como el de rastreo pero con una versatilidad de movimiento mucho menor con respecto a la antena TTAC, es decir, este tipo de antena no es utilizada para rastrear al satélite en órbitas de transferencia.

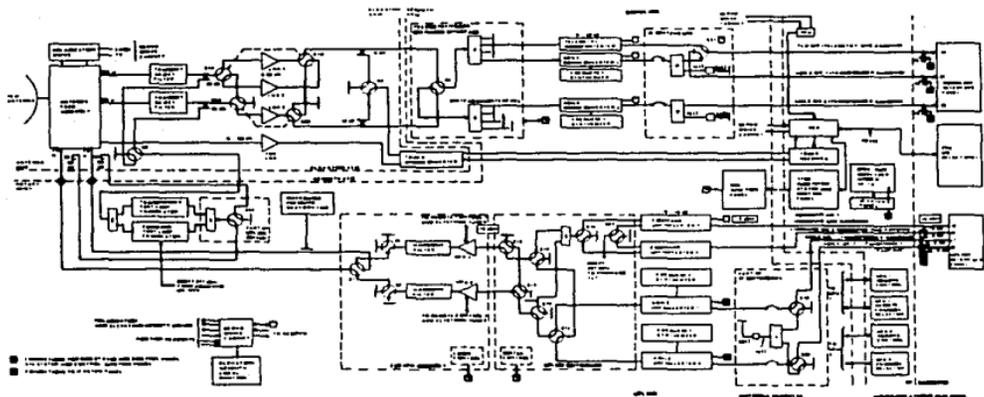
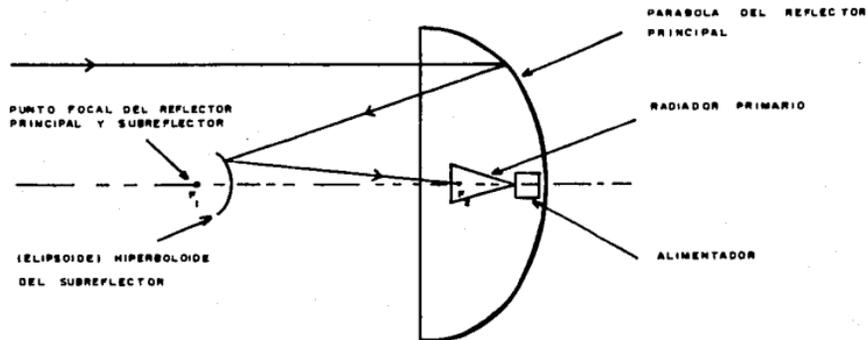


FIG 2.19 ANTENA TTAC, SISTEMAS DE RF E INTERFACES

UNAM	ENEP	A
TESIS PROFESIONAL		
MANUEL CUEVAS S		

F_1 Y F_2 PUNTOS FOCALES



U N A M .	E N E P . A .
T E S I S P R O F E S I O N A L	
M A N U E L C U E V A S S	

FIG. 2.20 OPTICA Y COMPONENTES DE LA ANTENA CASSEGRAIN (REFLECTOR DUAL).

Cabe aclarar que la antena B normalmente está apuntada al satélite Morelos I y la antena C se destina al satélite Morelos II.

Auxiliándonos con la figura 2.21 la cual nos representa el diagrama a bloques del sistema de antena de 11 m. para Telemetría y Comando (T & C), podemos ubicar el procesamiento de la señal en el enlace ascendente/descendente para la etapa de radiofrecuencia.

Considerando el enlace ascendente, primeramente tenemos que la señal mandada por los moduladores de FM es de 70 Mhz, la cual se enruta en los dos Command Upconverters mediante un divisor, donde uno de los cuales debe estar en línea y el otro nos servirá de respaldo, por lo que tendremos redundancia en estos equipos es decir el sistema es de 1 + 1. El Command Upconverter redundante estará conectado a una carga y cuando se quiera utilizar, se conmuta por el que está en línea, el cual ahora pasará a la carga.

Conforme a lo analizado en la sección 2.2, los Command U/C trasladan la frecuencia de BB de 70 Mhz a las frecuencias de OMNI o DISH; luego entonces la señal de salida de estos equipos es dividida y enrutada a los HPA's, para tener consecuentemente la señal en la antena y poder ser radiada al satélite en cuestión.

Para el enlace descendente el procesamiento o enrutamiento de la señal es la siguiente: La telemetría enviada por el satélite es recibida en la antena de 11 m. B o C, pasando posteriormente por el amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) y entonces mediante la Unidad de Interface de RF se enruta la señal a uno de los dos convertidores de telemetría, donde mientras uno se encuentra en línea, el otro está en "standby" para el monitoreo de su FI. La señal de telemetría continúa su procesamiento pero ahora en equipos de la etapa de banda base.

Todo el switcheo empleado para operar y configurar la mayoría de los equipos asociados al sistema de antena de 11 m., es mediante un panel de estado y control, así como con

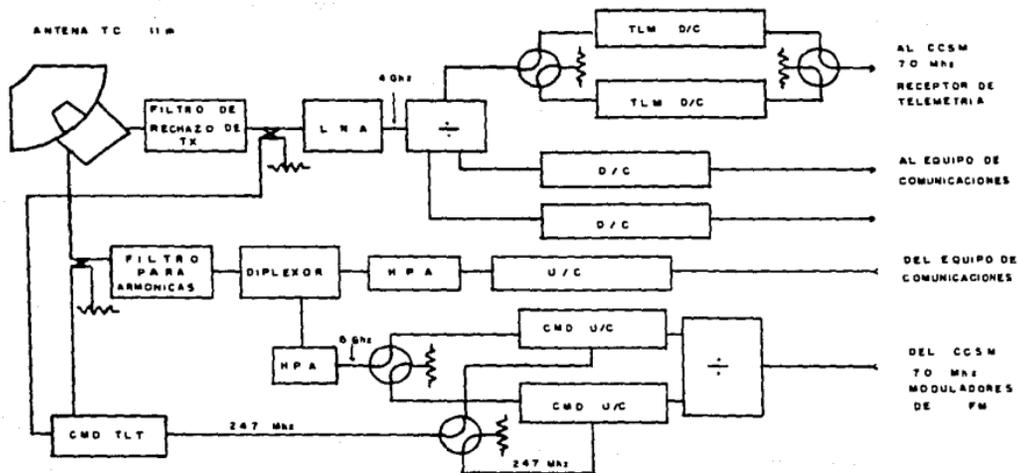


FIG. 2.21 DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA DE ANTENA DE 11M TC.

UNAM	ENEP	A
TESIS PROFESIONAL		
MANUEL CUEVAS S		

la ayuda de la Unidad de Interface de RF, la cual esta contenida en la figura 2.22. Esta Unidad de Interface de RF proporciona el método de switcheo de estos equipos mediante un control remoto desde el panel de estado y control de interface de RF o en forma manual, para obtener la configuración requerida. Con la Unidad de Interface de RF obtenemos en síntesis las siguientes funciones:

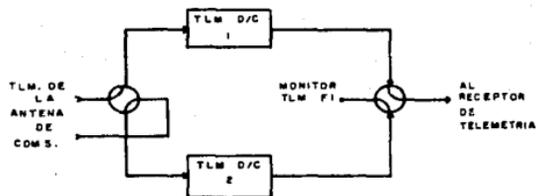
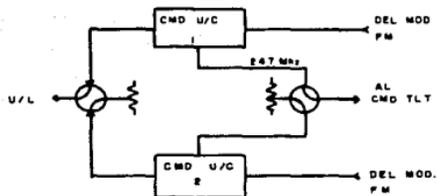
- Selección del CMD U/C en línea.
- Selección de la fuente de 247 Mhz para el CMD TLT.
- Selección del TLM D/C en línea y el TLM D/C en standby lo configuramos para monitoreo.

Sin embargo para poder manipular a la Unidad de Interface de RF, se requiere de un panel de estado y control. Dicho panel se encuentra integrado a la consola del CCS, el cual nos despliega visualmente la posición de los switch y por lo tanto de la configuración y estado que guardan los equipos asociados al sistema de antena de 11 m.

2.6 UNIDADES AUXILIARES EN LOS SISTEMAS DE RF.

Para que los sistemas de radiofrecuencia considerados funcionen adecuadamente, se requiere además de los sistemas ya vistos, lo siguiente: Fuentes de alimentación, unidades de aire acondicionado, bancos de switches, unidades para control y monitoreo y demás equipo, teniendo la función de señalización, alimentación, protección y control necesarios para el desarrollo pleno de la operación del sistema de RF en su conjunto.

Es entonces en esta sección, donde trataremos acerca de las unidades auxiliares, empleadas en el sistema de radiofrecuencia, mismas que a continuación se relacionan y describen.



UNAM	ENEP A.
TESIS PROFESIONAL	
MANUEL CUEVAS S	

FIG. 2 22 INTERFAZ DE RF PARA LA ANTENA DE 11 M.

- 1) Sistema de presurización/deshidratador.
- 2) Unidades de aire acondicionado.
- 3) Unidad de control de antena (ACU).
- 4) Unidad de control de polarización (PCU).
- 5) Gabinete para el servo manejo.
- 6) Panel de estado y control del subsistema TTAC.
- 7) Panel de estado y control de antena TC.
- 8) Banco de switches para el enlace de subida.
- 9) Banco de switches para FI.
- 10) Banco de switches para HPAs.
- 11) Unidad de control para banco de switches de HPAs.
- 12) Unidad para control y monitoreo de LNAs
- 13) Selector para el camino de transmisión.
- 14) Sistema filtro/ventilador en racks.
- 15) Fuente de alimentación.

SISTEMA DE PRESURIZACION/DESHIDRATADOR.

Dicho sistema tiene por función el de mantener una presión positiva adecuada y constante de aire seco o nitrógeno (N₂) en las guías de ondas rectangulares usadas en el sistema de RF, así como en las guías de onda de sección circular en el alimentador de la antena. Lo anterior es con el objeto de evitar al máximo la humedad y el polvo que pudiera entrar a estas partes del sistema y afectar la operación.

UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO.

Los equipos de Aire Acondicionado son encargados de proporcionar en los locales donde se encuentran los equipos, las condiciones de temperatura y humedad requeridas para el correcto funcionamiento de los equipos de Banda base, radiofrecuencia y cómputo que constituyen al CCSSM. Los equipos están ubicados en: Las casetas de comunicaciones

o estaciones terrenas; en el pedestal de la antena TTAC; sala de computadores, así como en la sala de control del CCSM.

En las instalaciones del CCSM, se cuenta con tres tipos de equipos de aire acondicionado llamados de refrigeración, los de calefacción y los evaporativos. Los dos primeros controlan la temperatura y en forma secundaria la humedad; los equipos evaporativos controlan principalmente la humedad.

UNIDAD DE CONTROL DE ANTENA (ACU)

Esta unidad de control es utilizada sólo en la antena TTAC adquiriendo así más ventajas, versatilidad y facilidades en su operación. El ACU contiene toda la electrónica para generar los comandos necesarios y manejar los motores de elevación y azimuth en los diferentes modos de operación como lo son: Manual, remoto, autotrack, SatA, SatB, SatC, y en Standby. Los comandos para los motores son producidos mediante el ACU como resultado de la información de entrada provenientes del control de velocidad en el panel frontal (modo manual), el receptor de rastreo de monopolso (modo tracking), o los comandos de posición (designación de posición y modo manual).

Por otro lado el ACU también despliega mediante caracteres alfanuméricos los ángulos de elevación y azimuth, así como el modo en que opera y el estado en que se encuentre.

UNIDAD DE CONTROL DE POLARIZACION (PCU)

La unidad de control de polarización PCU es la unidad mediante la cual se generan instrucciones o comandos que manipulan los motores del polarizador en el alimentador de la antena TTAC. Esta unidad es exclusiva de la TTAC con lo cual se logra versatilidad de operación. El PCU también proporciona los datos de los ángulos del polarizador; el

modo de operación manual, standby y automático; así como los límites con que se opera.

GABINETE PARA EL SERVO MANEJO (Servo Drive Cabinet).

El gabinete de servo manejo proporciona la circuitería entre las unidades de Control de Antena y Control de Polarización con los equipos montados en ella. Para lo anterior el gabinete de control contiene los paneles de interface para los ejes de El y Az, así como los controles individuales de los motores de DC, constituyendo esto la interface entre los comandos de salida del ACU y los requerimientos de la elevada corriente de los motores para el manejo de la antena. Por lo tanto este gabinete proporciona una unión y punto de distribución para el cableado de los servo mecanismos. Además de lo anterior, el gabinete contiene los controles para los frenos, los interlocks y el panel de interruptores para elevación, azimuth y polarizador.

PANEL DE ESTADO Y CONTROL DEL SUBSISTEMA TTAC.

Al igual que en el sistema de antena de 11 m., existe un panel de estado y control para el sistema de antena TTAC. El panel tiene un arreglo y distribución de tal forma que se pueda tener un control funcional y seguir un diagrama de estado de los equipos para el enlace de subida y bajada. Los switches que integran al panel, son indicadores de estado operativo, los cuales se iluminan con lámparas incandescentes desplegando colores de acuerdo al siguiente código: El verde es usado para conexiones y estados normales, el naranja es usado para conexiones no estandares y el rojo usado para indicaciones de falla. Por lo anterior, el estado que guarden los equipos es desplegado todo el tiempo, independientemente del modo de control.

PANEL DE ESTADO Y CONTROL DE ANTENA T.C.

El panel de estado y control es una unidad auxiliar que nos permite tener un control de los equipos asociados a las antenas T - C. Dicho panel tiene como función el de señalar

y monitorear el estado que guarden los equipos (normal o falla). También con este panel se puede realizar la configuración requerida para el enlace ascendente y/o descendente dentro de la etapa de RF. En la sección 2.5 se dieron más detalles sobre el funcionamiento e interacción con la interface de RF.

BANCO DE SWITCHS PARA EL ENLACE DE SUBIDA (UPLINK SWITCHBANK).

Un equipo más que esta relacionado con la antena TTAC es un banco de switchs para el enlace de subida, el cual incluye ocho switchs coaxiales de transferencia para proveer las siguientes funciones:

- Selección de la fuente de entrada para cada HPA.
- Selección de la fuente de 247 Mhz para el CMD TLT.
- Selección de la fuente de 6 Ghz para la entrada del CMD TLT.

BANCO DE SWITCHS PARA FI (IF SWITCHBANK)

El banco de switchs para la Frecuencia Intermedia (FI) es también una unidad que esta incorporada en los racks de la antena TTAC. Dicha unidad incluye tres switchs coaxiales. Dos de estos switchs conectan la entrada de los AGILES U/C al sistema automatico de prueba (ATS) o al equipo de Banda Base. El tercer switch conmuta las salidas del TLM D/C o AGILE D/C a los receptores de telemetría, perteneciendo estos receptores al equipo de Banda Base.

BANCO DE SWITCHS PARA HPAs (HPA SWITCHBANK)

Para que el sistema de HPAs este completo, se requiere de un banco de switchs, el cual esta constituido de switchs de guias de onda; conexiones de guias de onda y cargas disipadoras para alta potencia necesarias para la implementación de la configuración indicada

por el switcheo. Con este banco de switcheo para los HPAs, se podrá realizar la conmutación de los mismos, es decir, si uno de los HPAs, quedara en línea, el otro por consecuencia estará a la carga. Además de lo anterior, se podrá elegir y enrutar el tipo de polarización lineal de la señal de salida de RF de los HPAs, con la cual se requiera transmitir. Cada conmutación realizada por este banco, proporcionará datos que serán enviados al panel de estado y control correspondientes. Por lo tanto nuestro sistema redundante o uno más uno de HPAs se podrá configurar de acuerdo a las condiciones de estado de los amplificadores de alta potencia y/o de acuerdo a las necesidades de configuración.

UNIDAD DE CONTROL PARA BANCO DE SWITCHS DE HPAs (SWITCH- BANK CONTROL UNIT)

La unidad de control del banco de switchs para los HPAs proporciona la interface entre el panel de estado y control y el banco de switchs. En esta unidad se cuenta con lámparas indicadoras para señalizar la selección del enrutamiento de la señal de RF y el HPA que se encuentre en línea o a la carga.

UNIDAD PARA CONTROL Y MONITOREO DE LNAs

Con esta unidad podemos obtener las funciones de selección del control en forma remota/local y manual/automática, así como el monitoreo de alarmas de los amplificadores de bajo nivel de ruido, los cuales están localizados en el compartimiento del cubo de la antena.

SELECTOR PARA EL CAMINO DE TRANSMISION (TX PATH SELECTOR)

El selector del camino de transmisión es una unidad asociada a los HPAs redundantes, para lo cual dicha unidad está provista por un control local y automático del switch para guía de onda (WG sw), de tal manera que sea seleccionado el camino de la señal de RF

del HPA en línea e indicando simultaneamente que HPA se encuentra a la carga.

SISTEMA FILTRO/VENTILADOR EN RACKS

Siempre es recomendable que en los racks de equipos para comunicaciones donde se encuentren integrados varios de estos, exista un sistema que pueda extraer del interior del rack el aire caliente generado por el funcionamiento de los mismos y además que pueda enfriarlos para que continúe su correcto funcionamiento operativo en condiciones de temperatura adecuada. Para tal fin, se coloca en la parte inferior del rack un filtro para aire y en la parte superior un extractor, de tal manera que se lleve a efecto la función antes señaladas.

FUENTES DE ALIMENTACION

Después de haber mencionado equipos y unidades auxiliares no podíamos pasar por alto las fuentes de alimentación, algunas de ellas integradas por sus etapas de rectificación, filtrado, regulación y divisor de voltaje, para energizar adecuadamente a las unidades, equipos y sistemas que se han mencionado y que intervienen en la etapa de radiofrecuencia.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO 3. PROBLEMATICA Y NECESIDADES ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE RF.

El objetivo de este capítulo, es el de presentar un panorama general de la situación actual en la cual se encuentra el Area de Mantenimiento del CCS; así como de las diversas actividades esenciales a considerar. Una vez contemplada tal situación, permitirá determinar la necesidad de establecer un programa de mantenimiento (PM) y sus diferentes factores afines.

3.1 PROBLEMATICA ACTUAL.

Iniciaremos mencionando, que la Dirección de Sistemas de Satélites Nacionales cuenta con un organigrama, mismo que está asentado en el primer capítulo del presente trabajo. Cabe aclarar que en el organigrama, el Area de Mantenimiento esta representado en un solo bloque, por lo que a continuación se desglosa en la figura 3.1 para visualizar su estructura y dar pie a los comentarios correspondientes para que posteriormente se proponga uno que cumpla con los requisitos necesarios.

No obstante, el Area de Mantenimiento se encuentra en la primera etapa de desarrollo e integración total, por lo que carece de algunos elementos constitutivos, ya que desde un punto de vista general, el mantenimiento es el conjunto de actividades desarrolladas con objeto de conservar los bienes físicos de una Empresa, que para el caso particular del Centro de Control, se enfocará directamente a sistemas de radiofrecuencia y asociados para mantenerlos en condiciones de funcionamiento con la mayor economía posible. Lo anterior incluye conceptos tales como eficiencia, seguridad y confiabilidad entre otros.

Ahora bien, para lograr lo antes señalado, se deberá en primera instancia, solucionar los siguientes puntos:

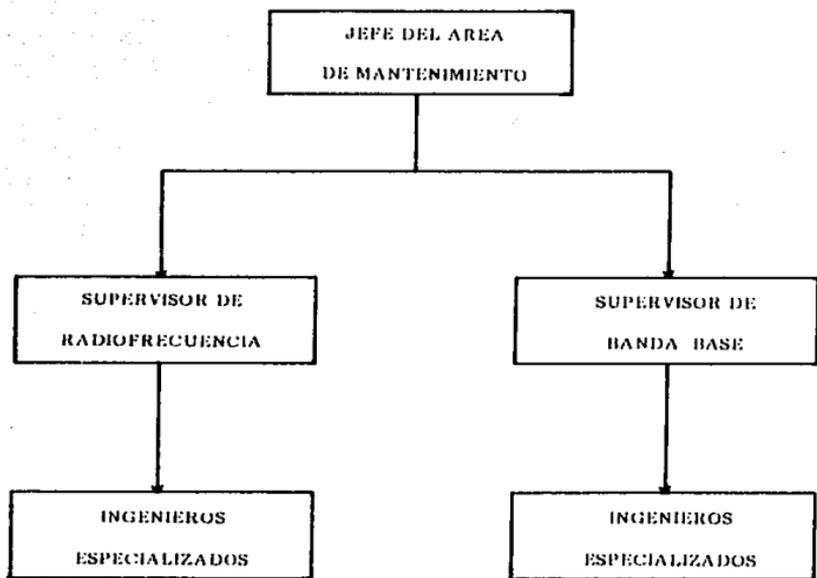


FIGURA 3.1
ORGANIGRAMA DEL AREA DE MANTENIMIENTO.

- 1) Adecuación de la estructura orgánica del Area de Mantenimiento.
- 2) Atención a los problemas internos.
- 3) Procedimientos y programación en los trabajos de mantenimiento.

mismos que se desarrollarán en los párrafos subsecuentes.

1) Adecuación de la estructura orgánica del Area de Mantenimiento.

La planeación, programación, operación y conservación de los sistemas del CCS, pueden ser función de uno o varios Departamentos, pudiendo ser actividad base de uno de ellos, efectuando en forma independiente. Por lo que para el mejor desempeño de las funciones a desarrollar dentro del Area de Mantenimiento es indispensable analizar el organigrama presentado, ya que actualmente trabaja con una estructura orgánica, misma que no contiene secciones importantes tales como un almacén, laboratorio y de staff, para que sea totalmente funcional, por lo que se propone quede adecuada de la siguiente forma, figura 3.2, la cual considero, cumple con lo mínimo indispensable.

Las secciones de almacén y laboratorio se detallarán en párrafos posteriores para justificar su debida integración al organigrama propuesto.

Por otro lado se considera que es imprescindible agregar la sección de Staff ya que el practicar mantenimiento, no significa solamente reparar los equipos sino que implica, además, adaptar los recursos (hombres, medios y materiales) a las exigencias reales de los sistemas de RF y BB, del modo más económico posible.

Generalmente el personal técnico de mantenimiento se dedica a sus ocupaciones rutinarias, con el objetivo inmediato de garantizar que los sistemas estén siempre en condiciones de operación, lo cual no les permite dedicar el tiempo necesario a la búsqueda de estrategias correctas del servicio.

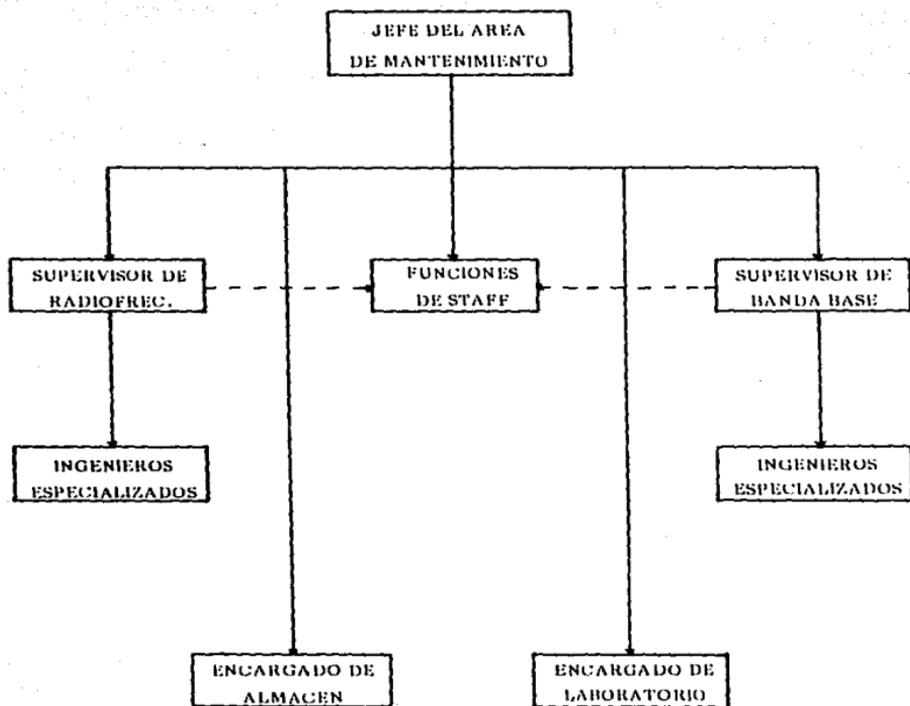


FIGURA 3.2 ESTRUCTURA ORGANICA PROPUESTA.

Se entiende por estrategia, la formación de acciones a desarrollar para definir: El tipo de mantenimiento más adecuado a cada equipo; los medios y métodos de trabajo apropiados; qué trabajos realizar con los propios medios y cuáles confiar a empresas externas; la cantidad óptima de refacciones y sustituciones en stock; los métodos y medios de control de los sistemas y el procedimiento de obtención de datos que permitan en el transcurso del tiempo aportar mejoras a todos los sistemas.

Todas estas acciones que en el Area de Mantenimiento se presentan en formas y momentos diferentes, las deberá desarrollar expresamente el personal llamado de "staff". Por lo tanto el Area de Mantenimiento ahora considerará que está distribuido en dos funciones principales: De "línea" con cometidos de tipo decisional y operativos, así como el de "staff" con funciones de tipo consultivo.

En la estructura propuesta, se observa la forma en que quedan establecidas las funciones y responsabilidades, de tal forma que los ingenieros especializados reciban instrucciones directas para cada fase particular del trabajo.

Otra ventaja es la de lograr especialización, además de darse una fácil transmisión de experiencias.

2) Atención a los problemas internos.

Es importante resolver los problemas internos en esta Area tales como:

- a) Turnos y horarios por cubrir.
- b) Elaborar un programa de capacitación hacia el personal técnico de los servicios de mantenimiento.
- c) La creación y organización de un almacén.
- d) La implementación de un laboratorio.

Se requiere de turnos y horarios del personal para atender los equipos que operan las 24 horas y los 365 días del año, para mantener la operatividad de los mismos, así como continuar con el control de los satélites. Actualmente sólo se tienen dos turnos que no satisfacen las necesidades de operación. Por lo que se requiere, además de una mejor distribución del personal en horarios adecuados, la creación de guardias sabatinas y dominicales así como en los días festivos, de tal forma que se atiendan permanentemente a los sistemas del área operativa. El aspecto económico es también esencial para la realización de tan importantes funciones de mantenimiento, por lo que las guardias tendrán que ser compensadas mediante remuneraciones económicas.

Por otro lado, la elaboración de un programa de capacitación hacia el personal técnico de los servicios de mantenimiento, se hace imprescindible, por lo delicado y especializado de los sistemas de radiofrecuencia que integran el CCSM. Por el momento la única capacitación existente es a través de manuales de operación y mantenimiento correspondientes a los equipos. Sin embargo la experiencia técnica y conocimiento profundo de los sistemas de RF, es cuando se presenta la falla en alguno de ellos, lo cual implica que el mantenimiento sea en su mayor parte, puramente correctivo. El programa de capacitación se deberá coordinar entre el Área de Mantenimiento y Soporte Técnico y Entrenamiento.

Ahora bien, en toda sección de mantenimiento es importante contar con un almacén en el cual se pueda disponer de herramientas, refacciones y equipo de respaldo, cuyo encargado del mismo deberá considerar precauciones y detallar los elementos requeridos para evitar fallas en la operación del almacén y por lo tanto en los sistemas operativos; proporcionando los criterios de inventario a seguir, seleccionando los proveedores y responsabilizando se de la autorización de equivalencias y similitudes en la adquisición de partes y equipos.

Otra de las carencias, es el acondicionamiento de un laboratorio que contribuya al desarrollo técnico del mantenimiento, debiendo contar con la instrumentación necesaria y adecuada para realizar los ajustes y pruebas a los equipos en falla, pertenecientes a los sistemas de radiofrecuencia. Dado lo anterior se propone una serie de equipos y accesorios

con sus características, para que el laboratorio cuente con la instrumentación y herramienta mínima indispensable.

INSTRUMENTACION PROPUESTA

EQUIPO	MARCA	MODELO	RANGO DE OPERACION
-Analizador de espectros	H.P.	8562A	De 1 KHz a 22 Ghz.
-Osciloscopio	"	54201A	BW 300 Mhz.
-Frecuencímetro	"	5342A	De 10 Hz a 18 Ghz
-Medidor de potencia.	"	436A	De -60 dBm a + 44 dBm (En función del sensor)
-Sensor de potencia.	"	8481B *	De 1 mW a 25 Watts
-Sensor de potencia.	"	8481A *	De 1 μ W a 100 mW
-Sensor de potencia.	"	8481H *	De 100 μ W a 3 Watts.
-Multímetro digital	"	3466A	De 20 μ A a 20 MA De 200 μ A a 2 A De 20 mV a 1200 V. De 20 Hz a 100 KHz.
-Medidor de SWR.	"	415E	De 50 μ A a 10 MA
-Graficador X-Y	"	7090A	---
-Generador de Microondas.	"	8673E	De 2 a 18 Ghz.

EQUIPO	MARCA	MODELO	RANGO DE OPERACION
- Generador de barrido.	H.P	8350	De 10 Mhz a 40 Ghz
- RF PLUG-IN	"	8359B	De 0.01 a 20 Ghz
- Generador de Funciones	"	3325A	Seno 1 μ Hz a 20 Mhz Cuadrada 1 μ Hz a 10 Mhz Triangular/rampa de 1 μ Hz a 10 Khz.
- Frecuencímetro de cavidad.	"	537A	De 3.7 a 12.4 Ghz
- Fuente de Alimentación.	"	6294A	De 0 a 60 VCD.

* Para operar en el rango de frecuencias de 10 Mhz a 18 Ghz.

Además de los instrumentos anteriores, se requiere contar con los siguientes accesorios:

EQUIPO	MARCA	MODELO	RANGO DE OPERACION
- Atenuador Variable.	H.P	8496B	De 0 dB a 110 dB
- Divisor de potencia.	"	1163A	De DC a 18 Ghz (50 Ω)
- Detector de cristal.	"	8473B	De 0.01 a 18 Ghz
- Adaptador de guía de onda a cable coaxial.	"	218A	De 6 Ghz a 12 Ghz

- Carga terminal fija para guía de onda.	H.P.	910B	De 6 Ghz a 12 Ghz.
- Guía de onda de impedancia variable.	"	914B	De 6 Ghz a 12 Ghz
- Aislador de ferrita.	"	DBG 480A	Banda C
- Guía de onda ranurada.	"	810B	De 6 Ghz a 12 Ghz

En todo laboratorio debe existir una maleta de herramientas, así como un juego de cables coaxiales con conectores, que entre otros pueden ser los que se señalan a continuación:

- Cable coaxial de 50 Ω con conectores N(RG-214/U). Rango a frecuencia de DC a 12.4 Ghz.
- Cable coaxial con conectores N(m) - N(f). Rango de frecuencia DC a 18 Ghz.
- Cable coaxial de 50 Ω y conectores BNC(m), UG-88. Rango de frecuencia de DC a 18 Ghz.
- Cable coaxial con conectores BNC(RG-223/U). Rango de frecs. de DC a 12.4 Ghz.
- Cable coaxial de 50 Ω con plugs de doble banana.
- Cable coaxial para prueba de clips a plugs doble banana.
- Adaptador tipo

SMA	(f)	-	SMA	(f)
SMA	(m)	-	SMA	(m)
N	(f)	-	BNC	(m)
N	(m)	-	BNC	(m)
N	(m)	-	SMA	(f)
N	(m)	-	SMA	(m)
N	(m)	-	N	(m)
N	(f)	-	N	(f)
N	(m)	-	N	(f)

Para más detalles, se anexa un listado de componentes y accesorios en la sección del estudio económico.

3) Procedimientos y programación en los trabajos de mantenimiento.

El mantenimiento, como otra actividad importante, se gestiona a través de una programación, que permite utilizar lo mejor posible de los recursos disponibles, que en nuestro caso, son la mano de obra, los instrumentos y repuestos. La programación adquiere aún mayor importancia porque los trabajos de mantenimiento, aparte de sus propias necesidades y servicios, están ligados a los programas de servicios y porque al concurrir en ellos tipos de trabajo distintos, las pérdidas de eficiencia operativa se hacen sentir más y en consecuencia pueden traer graves complicaciones en cuanto al control y monitoreo que se ejerce sobre los satélites.

Por otro lado, al realizar los mantenimientos es necesario tener un procedimiento en el cual se debe considerar:

- El análisis del problema.
- Análisis de los requerimientos.
- Análisis de las refacciones.
- Mano de obra disponible.
- Estudio económico.
- Prioridad del trabajo.
- Pruebas funcionales.
- Operación.

Los puntos anteriores nos permitirán desarrollar una sistematización al programar las tareas a efectuar.

La Ingeniería del mantenimiento va más allá de lo tratado, por lo que es pertinente desarrollar y tomar en cuenta la información que se detalla a continuación:

Actividades de Mantenimiento.

Debido a que el Área de Mantenimiento abarca una gama de funciones, tendrá que cubrir las siguientes actividades, mismas que por el momento no se llevan a cabo cabalmente. Estas actividades están comprendidas en la inspección, reparación, ingeniería y administración.

1) Inspección.

Esta actividad corresponde a la detección de fallas mediante la supervisión, monitoreo y/o verificación manual o automático sobre:

- El uso adecuado de los sistemas (RF).
- Procesos correctos en las actividades del mantenimiento.
- Control de calidad en las reparaciones.
- Control de calidad en las refacciones.

2) Reparación.

Tiene por objetivo reestablecer el adecuado funcionamiento de los bienes físicos mediante la corrección de fallas incluyendo el correspondiente remplazo y modificaciones a efectuarse en el laboratorio y/o directamente sobre el equipo.

3) Ingeniería.

El Área de Mantenimiento necesita desarrollar una Ingeniería que le permita abarcar lo siguiente:

- Análisis de los bienes físicos , definiendo:

- . Características.
- . Funciones.
- . Componentes principales.
- . Vida útil.
- . Periodicidad del Mantenimiento.

- Costos por actividad, en base a:

- . Estudios estadísticos.
- . Cálculos de rendimientos y/o eficiencias.
- . Valores de referencia.

- Análisis estadísticos y ajustes.

- . Criterios de reemplazo.
- . Substitución de componentes por equivalentes.
- . Modificaciones.
- . Procedimientos.

4) Administración.

En mantenimiento, la administración es la integración de los resultados del sistema base para la toma de decisiones. De esta forma la administración del mantenimiento es la función a nivel ejecutivo del responsable del Área.

Por lo anterior, el jefe de mantenimiento debe comprender y conocer los objetivos, funciones, procedimientos y responsabilidades de las diferentes actividades, áreas y controles para poder gobernar y/o dirigir el mantenimiento de los equipos considerados, por lo que se deberá concretar el análisis del desarrollo y resultados de sus recursos a través de:

- Trabajo.
- Mano de obra.
- Materiales y equipo.

3.2 LA NECESIDAD DE ESTABLECER UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.

El subcapítulo anterior, refleja la problemática ante la que se enfrenta el Área de Mantenimiento marcando de esta forma la pauta del por qué es necesario establecer un programa de mantenimiento, además de las características mínimas exigibles a ser consideradas por dicho programa para llevar a buen término su labor. Sin embargo, en términos generales, la justificación para establecer un programa de mantenimiento y la creación de un grupo de ingeniería de mantenimiento se encuentra en que sirve para asegurar la disponibilidad de equipos y servicios que necesitan en el CCSM para desarrollar sus funciones a una tasa óptima de rendimiento sobre la inversión, ya sea que ésta inversión se encuentra en equipos, materiales, refacciones, o en recursos humanos. La función de mantenimiento debe considerarse como parte integral e importante de la organización, que maneja una fase de las operaciones.

Por otro lado en los siguientes renglones se sintetizan los objetivos y acciones que justifican a lo que podemos llamar la Ingeniería del Mantenimiento con el fin de atender los problemas que atañen al Área en cuestión.

OBJETIVOS DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO.

- 1) Reducir al mínimo los costos, debido a fallas en los equipos.
- 2) Limitar la degradación de los sistemas (RF) y sus consecuencias de alta probabilidad de operación de los satélites.
- 3) Proporcionar asesoría, partiendo de la experiencia adquirida, a todos aquellos que intervienen en la operación de los equipos, como son los controladores y el personal del Área de Comunicaciones.

- Las acciones que el mantenimiento tiene que poner en marcha son:

- 1) Efectuar intervenciones especializadas, preventivas y correctivas, sobre los equipos, a fin de mantener su eficiencia, con revisiones completas o parciales y eliminación de anomalías.
- 2) Crear una organización adecuada para la preparación del trabajo, la previsión de los plazos y el aprovechamiento de las refuerciones.
- 3) Llevar a cabo las negociaciones con las empresas externas a las que se van a encomendar trabajos de mantenimiento concretos que, por la particular especialización, no cubren en las posibilidades normales del laboratorio.
- 4) Preocuparse de la continua mejora técnica de los medios de que el mantenimiento dispone. Como lo son equipos de medición y calibración.
- 5) Cuidar de la puesta al día del nivel técnico de los supervisores y del personal técnico mediante una acción continua y directa, aparte de utilizar la documentación específica y organizar cursos de entrenamiento convenientemente preparados.
- 6) Seguir de cerca la puesta en marcha de los equipos e instalaciones nuevas a fin de adquirir los conocimientos técnicos necesarios para su futuro mantenimiento.
- 7) Favorecer, conjuntamente con las demás Áreas que integran al CCS, la difusión del conocimiento de los equipos e instalaciones asociadas, con objeto de mejorar continuamente su empleo desde el punto de vista técnico y promover acciones educativas para formar una conciencia técnica en los responsables de la operación.
- 8) Colaborar constantemente con los Departamentos de Staff, para proveer elementos, fruto de la propia experiencia, que aporten correcciones y mejoras en la realización de proyectos, e implementar programas eficientes de mantenimiento preventivo y, en general, participar en estrecho contacto con las partes de operación, técnicos y administrativos, para la implementación de planes que eviten costos innecesarios de mantenimiento.
- 9) Participar en la definición de los tipos y cantidades de materiales técnicos a adquirir de proveedores externos, vigilando las faltas de los mismos y cuidando de la organización del almacén y laboratorio para su conservación.

- 10) Mantener la seguridad de las instalaciones en donde se encuentran los equipos a un nivel en el que el peligro y la probabilidad de accidentes personales queden, por lo menos teóricamente eliminados.
- 11) Llevar un registro simple, pero significativo, de los hechos y datos históricos referentes a la naturaleza, frecuencia y costo de las intervenciones efectuadas sobre cada equipo. Ver sección 4.6 (Historial del equipo).

Como podemos notar es sumamente laborioso pero necesario el plan de actividades que debe contemplar el Area de Mantenimiento del CCSM para poder alcanzar el objetivo propuesto.

CAPITULO 4. EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.

4.1 GENERALIDADES.

Generalmente el mantenimiento ha adquirido, con el transcurso del tiempo, una importancia cada vez mayor, sin duda, por el aumento continuo del campo de aplicación de las máquinas y equipos dentro de todos los sectores de la producción y de servicio, en todas las fases posibles del ciclo de trabajo a nivel técnico, con complejidades cada vez mayores. Como consecuencia, surge la necesidad de la intervención preventiva y correctiva organizada, cuya ejecución, encuadrada dentro de esquemas modernos, servirá para contener el progresivo aumento de costos. Pero antes de continuar ¿qué se entiende por mantenimiento?, una definición conceptual es:

"El control constante de las instalaciones, así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar la operación adecuada y el buen estado de conservación de las instalaciones productivas, servicios e instrumentación de establecimientos, en condiciones de funcionamiento económico."

Para darnos una idea global de los alcances que tiene el mantenimiento, conviene conocer en que términos operan sus diferentes modalidades, que a continuación se enuncian:

- a) Mantenimiento correctivo.
- b) Mantenimiento preventivo.
- c) Mantenimiento predictivo.
- d) Mantenimiento rutinario.

a) **Mantenimiento correctivo.**- Concretamente es la corrección de fallas a medida que se presentan. Las actividades que se desarrollan en este tipo de mantenimiento básicamente son: Reparación y reemplazo.

La reconstrucción (overhaul), es el mantenimiento de rehabilitación total de las propiedades físicas al término de su vida útil. Este mantenimiento se debe justificar técnica y económicamente, lo cual es frecuente en aquellos casos en que es difícil la adquisición del reemplazo.

b) Mantenimiento preventivo.- En el mantenimiento preventivo las actividades son desarrolladas en el momento oportuno con base a un programa establecido, por lo que será posible la detección de posibles fallas y su corrección antes del tiempo en que se habría presentado, o bien se encuentran en fase inicial. Ver sección 4.7.

c) Mantenimiento predictivo.- Este mantenimiento esta basado en la inspección, estadística y análisis de ingeniería para estar en condiciones de establecer previamente el tiempo y condiciones en que se presentarían las fallas.

d) Mantenimiento rutinario.- Consiste en la actividad de "servicio" dentro del mantenimiento, también puede considerarse como la parte del mantenimiento preventivo dentro de un sistema correctivo.

Otra clasificación del mantenimiento es en función de su ejecución y de la relación de dependencia de los ejecutores con el usuario, es decir si el personal que efectúa el mantenimiento labora o no en la empresa que recibe los servicios del bien físico. Esta clasificación es : Interna, Externa y Mixta.

Interna . Es aquella que se efectúa con el personal de planta de la empresa.

Externa . Es aquella en que se contratan los servicios del personal independiente u otra empresa para efectuar el mantenimiento cuando por ejemplo, se requiere equipo y personal especial.

Mixta . Es con la participación de personal de planta de la empresa y externo.

Cuando el mantenimiento se realiza en forma externa o mixta, la responsabilidad para el personal de mantenimiento de la empresa que contrata, no se elimina generalmente, ya que se le encomienda la supervisión.

4.2 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Definido en forma adecuada, el verdadero trabajo del mantenimiento preventivo - MP para abreviar - incluye estas actividades básicas:

1. Inspección periódica de los activos y del equipo de la planta, para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos de funcionamiento o depreciación.
2. Conservar la planta para anotar dichos aspectos o adaptarlos o repararlos, cuando se encuentren aún en una etapa incipiente.

El MP no es una panacea para el tiempo ocioso excesivo o los altos costos de mantenimiento. Hay otras funciones de mantenimiento con las que el MP debe integrarse para lograr un programa eficiente de mantenimiento de la planta o en este caso para los equipos exigentes en el CCS - un buen sistema administrativo, trabajo de planeación y programación, adiestramiento, medición del trabajo, informes de control y buenos laboratorios y herramientas - . Aquí se enumeran las principales retribuciones que el MP produce:

1. Disminuye el tiempo ocioso.
2. Disminuye los pagos por tiempo extra de los trabajadores de mantenimiento en ajustes ordinarios y en reparaciones en paros imprevistos.
3. Menor número de reparaciones en gran escala y menor número de reparaciones respectivas, por lo tanto, menor acumulación de la fuerza de trabajo de mantenimiento y del equipo, lo que implica un adecuado control.
4. Disminuye los costos de reparaciones de los desperfectos sencillos realizados antes de los paros imprevistos, debido a la menor fuerza de trabajo, a las pocas técnicas empleadas y a la menor cantidad de partes que se necesitan para los paros

- planeados, en relación con los no previstos.
5. Mejor control de calidad, debido a la correcta adaptación del equipo.
 6. Aplazamiento o eliminación de los desembolsos por reemplazo prematuro de planta o equipo, debido a la mejor conservación de los activos e incremento de la vida probable.
 7. Menor necesidad de equipo en operación, reduciendo con ello la inversión de capital.
 8. Reducción de los costos de mantenimiento, de mano de obra y materiales, para las partidas de activos que se encuentran en el programa.
 9. Cambio del mantenimiento deficiente de "paros" a mantenimiento programado menos costoso, con lo que se logra mejor control del trabajo.
 10. Mejor control de refacciones, lo cual conduce a tener un inventario mínimo.
 11. Mayor seguridad para los trabajadores y mejor protección para el CCISM.

Todos éstos son beneficios reales que se aplican en cualquier economía industrial de paz o bélica, en expansión, estable o en contracción, así como en nuestro caso para cuestiones de control y servicio del CCS. En pocas palabras, los beneficios del MP son los mismos que los que se reúnen en cualquier planta con buen mantenimiento, además de las economías que resultan de una mayor eficiencia de la planta y de disminuir los costos totales.

SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Para poder realizar un plan de mantenimiento se requiere conocer el bien físico, en base a los siguientes conceptos:

- Características del bien físico.
- Funciones de los elementos que debe cumplir.
- Asignación de vida útil.

LA INSPECCION EN EL MP.

Los principios básicos para la elaboración de una lista de bienes físicos y componentes a inspeccionar son con base en un análisis completo relacionado con las preguntas que se señalan a continuación:

1. ¿Es un artículo crítico? Si una falla produjera un paro mayor imprevisto, o pérdidas muy costosas, o daños a un técnico o empleado, la necesidad del MP es casi cierta.
2. ¿Hay equipo de repuesto disponible en caso de que suceda una falla? Si la carga o responsabilidad se puede desplazar fácilmente a otro equipo, la necesidad de MP es contingente a otros factores, como costo de mantenimiento de "paro".
3. ¿El costo de MP excede el costo de reparación o reemplazo? Si cuesta casi lo mismo retirar un equipo para reparar una falla repetitiva que lo que cuesta repararla toda, el valor de MP es problemático.
4. ¿La vida normal de un equipo sin MP sobrepasa las necesidades de servicio? Si se espera que surja la obsolescencia más rápidamente que el deterioro, el MP puede ser un desperdicio de dinero.

En conclusión, si la falla en la conservación o adaptación del bien lesiona el servicio o al empleado, hay que considerarla seriamente antes de excluirla del MP.

Por otro lado, la experiencia obtenida en el centro de trabajo no basta para diseñar un programa. Una de las mejores fuentes son los manuales de servicio que envía el fabricante del equipo, con el objeto de seguir sus recomendaciones, hasta que se tengan buenos motivos para alterarlas. Los manuales son una guía valiosa sobre qué inspeccionar, cuándo hacerlo, cómo instalar, prestar servicio y conservar el equipo.

PERIODICIDAD O FRECUENCIA.

A continuación se dan los criterios a seguir para asignar la frecuencia de las actividades de mantenimiento respecto a la inspección y servicios:

1. Edad, condición y valor. El equipo más viejo y más malo necesita servicios más frecuentes.
2. Severidad del servicio. Las aplicaciones más severas de equipos idénticos requieren ciclos más cortos en la frecuencia del MP.
3. Requisitos de seguridad. Permitir un amplio margen de seguridad. Para lograrlo, en los equipos más críticos la frecuencia de inspección debe incrementarse.
4. Horas de operación. Muchos fabricantes sugieren ciclos de frecuencias basados en un día de ocho horas, otros sobre el uso de horómetros.
5. Susceptibilidad de deterioro. ¿Cuál es la exposición de ensuciarse, de fricción, fatiga, tensión, corrosión? ¿Cuál es la vida probable?
6. Susceptibilidad de siniestro. ¿Está el equipo en cuestión sujeto a vibraciones, sobre cargas, o abuso?
7. Susceptibilidad de perder el ajuste. ¿Cómo lo afecta el ajuste indebido o el alineamiento inadecuado? Cuando las tolerancias del fabricante son estrechas, se necesitan ciclos más cortos de inspección.

FORMAS DE DESARROLLO DEL MP.

Reparación mayor.

Se concentra el desarrollo de todas las actividades del mantenimiento en un período corto para efectuar dicha actividad.

Por etapas.

Se efectúan cotidianamente las actividades de servicio y mantenimiento menor, concentrando en períodos cortos y regulares sus actividades mayores.

Continuo.

Se efectúan ininterrumpidamente todas las actividades de mantenimiento con una probable ventaja de carga de trabajo uniforme, pero una posible desventaja económica por el desperdicio de materiales que pueda traer consigo esta forma de desarrollo.

Para cualquier forma de MP que se aplique, es recomendable apoyarse en los siguientes recursos técnicos.

1. Recomendaciones del fabricante.
2. Recomendaciones gremiales.
3. Experiencia propia.
4. Control estadístico.
5. Análisis de ingeniería.

4.3 ELEMENTOS DE LA TEORIA DE FIABILIDAD.

Antes de entrar en detalle, para tratar los elementos asociados a la fiabilidad, se definirá este concepto.

La fiabilidad de un elemento, se define como la probabilidad de que dicho elemento funcione sin fallas durante un tiempo t determinado en unas condiciones ambientales dadas.

Para entender el comportamiento de un sistema a lo largo del tiempo, consideremos inicialmente lo que pasaría con dicho sistema, que no tuviera que aplicarsele mantenimiento a lo largo de su vida, lo cual se observa en la gráfica 4.1, mostrando diferentes com

portamientos aunque todos ellos tienen cualitativamente la misma forma.

La fiabilidad cuesta: Al aumentar el grado de fiabilidad, los estudios tienen que ser más precisos, los proyectos más comprometidos, la experimentación más rigurosa, las construcciones más concienzudas y con empleo de medios técnicamente más avanzados, etc., todo lo cual comporta un aumento en los costos propios de estas actividades, a los que llamaremos "costos de servicio".

Por el contrario, al aumentar el grado de fiabilidad disminuirémos los costos inherentes a las fallas, a los que llamaremos "costos de mantenimiento" y que comprenden, además del mantenimiento en sí, los remplazos, y los costos derivados de la falta de productividad o servicio, según sea el caso.

El costo de la fiabilidad es la suma de los dos costos mencionados, suma que tendrá un mínimo al que corresponderá un cierto valor óptimo de fiabilidad misma que se representa en la figura 4.2.

La teoría de la fiabilidad comprende un conjunto de teorías, métodos matemáticos y estadísticos, procedimientos organizativos y prácticas operativas que, mediante el estudio de las leyes de ocurrencia de las fallas, están dirigidos a la resolución de los problemas de previsión, estimación y optimización de la probabilidad de supervivencia, duración media de vida y porcentaje de tiempo de buen funcionamiento de un sistema. A continuación se harán algunas consideraciones teóricas inherentes a lo antes mencionado.

Si se considera la variable independiente t "tiempo hasta la falla de un elemento", esto es, el tiempo transcurrido entre el instante inicial del período al que se refiere la evaluación de la fiabilidad y el instante en que el elemento se rompe, se define como densidad de probabilidad a la función $f(t)$ tal que la probabilidad instantánea de que el elemento falle en el tiempo t o en su entorno infinitésimo es,

$$f(t) dt$$

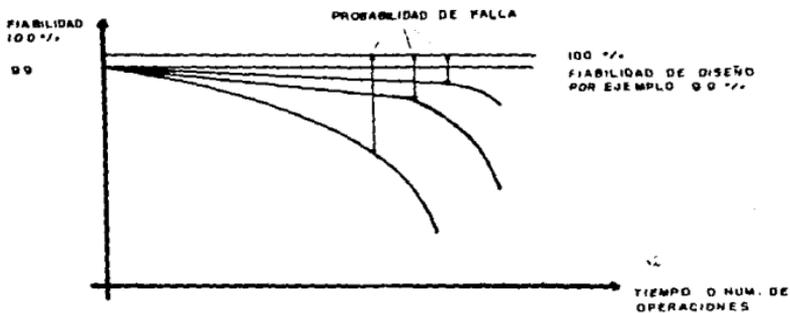


FIG. 4.1) COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA SIN MANTENIMIENTO.
(PERDIDA DE LA FIABILIDAD)

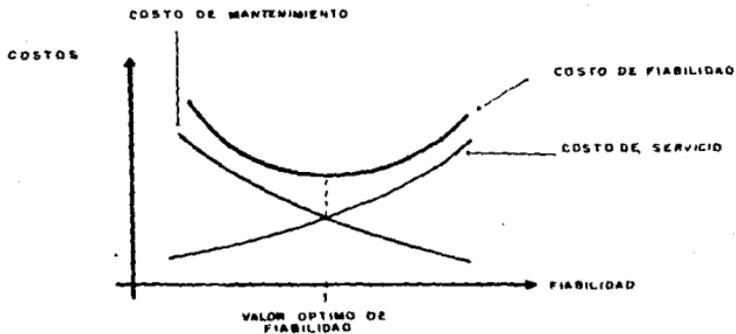


FIG. 4.2 COSTO DE LA FIABILIDAD.

Esta probabilidad está representada por el área rayada bajo la curva de la figura 4.3

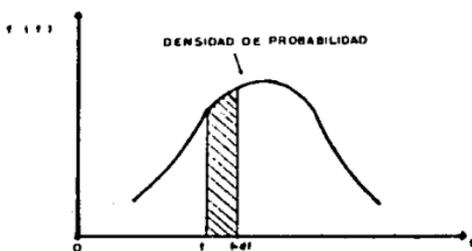


FIG. 4.3 DENSIDAD DE PROBABILIDAD.

Dado que todo elemento acaba por fallar con el tiempo, el área cubierta por la función $f(t)$ será igual a la unidad,

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1$$

La fiabilidad, es decir, la probabilidad de que el elemento funcione todavía en el instante t vendrá dada por

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = 1 - \int_0^t f(t) dt = 1 - F(t)$$

Donde la probabilidad de que el elemento falle en el instante t o antes viene dada por

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

El conocimiento de la función $f(t)$ permitirá por consiguiente evaluar la fiabilidad.

Otro elemento y función de interés fundamental a considerar es la tasa de fallas $\lambda(t)$: Ésta es tal que el producto

$$\lambda(t) dt$$

representa la probabilidad condicional de que el elemento falle en el tiempo comprendido entre t y $t + dt$ suponiendo que en t está todavía funcionando.

Resumiendo las variables anteriores se tiene que:

- $\lambda(t)$ es la tasa de fallas.
- $f(t)$ es la densidad de probabilidad.
- $F(t)$ es la probabilidad de que el elemento falle en el instante t .
- $R(t)$ es la fiabilidad.

Por otro lado no hay que perder de vista que el objetivo fundamental de la función mantenimiento es prolongar hasta donde resulte económica, la "vida de un equipo" así como tener clara la idea de lo que se debe entender por "vida".

En la siguiente gráfica 4.4 se representarán las clases de vida y el comportamiento de la tasa de fallas de una población homogénea a medida que crece su edad t .

Vida infantil.

Queda comprendido en el intervalo de t_0 a t_B , ya que es aquí donde se pone en funcionamiento un gran número de aparatos de cierto tipo, completamente nuevos, cuyos componentes de débil constitución van eliminándose sucesivamente, implicando que la tasa de falla disminuya y se estabilice en un valor casi constante en el tiempo t_B .

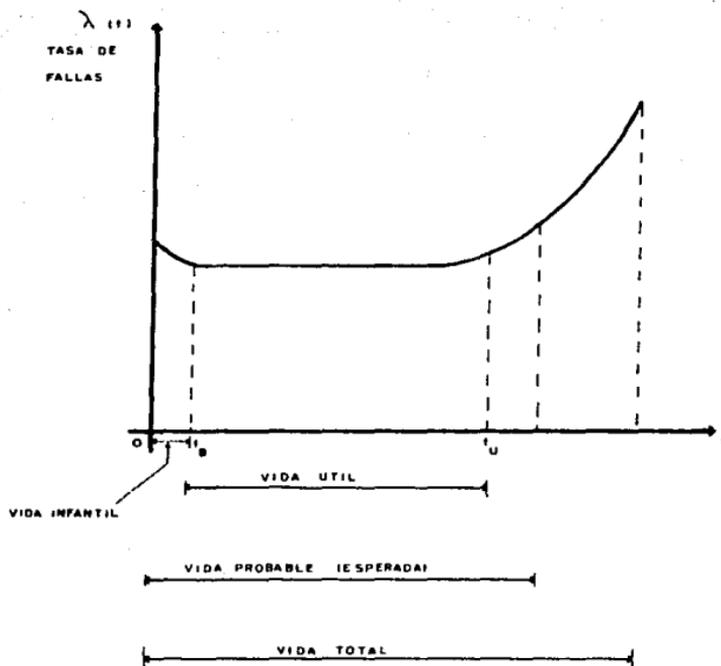


FIG 4 4 COMPORTAMIENTO DE LA TASA DE FALLAS Y TIPOS DE VIDA DE UNA POBLACION HOMOGENEA.

Vida útil.

La vida útil es aquella en el que el equipo mantiene una fiabilidad estable y su tasa de fallas alcanza su valor más bajo y constante hasta alcanzar la edad t_U , donde los componentes presentan el fenómeno del desgaste, por lo que la fiabilidad empieza a decrecer rápidamente o en otras palabras la tasa de fallas $[\lambda(t)]$ se incrementa.

Vida probable.

Los fabricantes hablan de "vida probable" o "vida esperada" o "vida útil" según convenga a su diseño, sin embargo la mayoría de ellos se refieren a la vida probable como el plazo donde la tasa de fallas crece rápidamente, ya que corresponde a la degradación irreversible de las características del producto, propia del diseño mismo y debido al tiempo de funcionamiento.

Vida total.

Esta etapa consiste en retirar el equipo de sus operaciones, por causas que definitivamente no permitan la continuidad de sus funciones.

Vida económica.

El concepto de vida económica encierra además de los aspectos tecnológicos e industriales, otros factores que hay que conocer. La vida económica puede ser independiente de la vida útil, ya que está en función de la dinámica o lo cambiante que sea el contexto socio-político-económico en donde se desarrolle la empresa. La vida económica es el lapso en el cual es costeable operar un equipo, en lugar de desecharlo, sustituirlo, reconstruirlo o venderlo.

FIABILIDAD Y DETERIORO.

En esta sección se tratará acerca del comportamiento de un sistema o equipo a lo largo de su vida.

Después de haber definido el MP entre otros términos como el conjunto de operaciones, llevadas a cabo generalmente a intervalos de tiempo regulares, cuyo fin es de asegurar el nivel previsto de prestaciones, fiabilidad y seguridad, previendo y combatiendo la aparición de fallas. Lo anterior se presenta gráficamente y en forma simplificada en la figura 4.5, en donde se muestran los parámetros de una tarea de mantenimiento que son:

- Cantidad de mantenimiento (CM). Incluye mano de obra, refacciones, recambios o restituciones de materiales, etc.
- Tiempo de mantenimiento (TM). Es el tiempo que por concepto de mantenimiento el equipo queda fuera de operación.
- Tiempo de MP programado (T_p). Es el instante de tiempo donde se aplica el mantenimiento preventivo programado para mantener la tasa de fallas prácticamente estable durante un periodo de tiempo.

Las tareas de mantenimiento para un mismo equipo no son iguales, sino que se alteran "menores", "mayores", "rehabilitación", etc. Una curva más apegada a la realidad es la que se muestra en la figura 4.6.

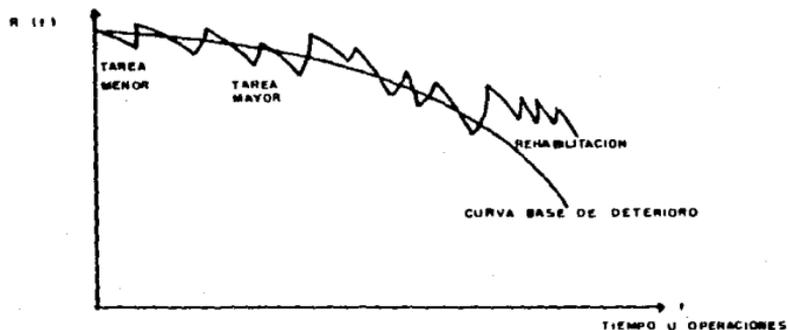


FIG. 4.6 CURVAS REPRESENTANDO LAS TAREAS DEL MANTENIMIENTO.

CANTIDAD ADECUADA DE MANTENIMIENTO.

Hay que aplicar la cantidad de mantenimiento que muestre ser la económica, lo cual podemos observar en la figura 4.7.

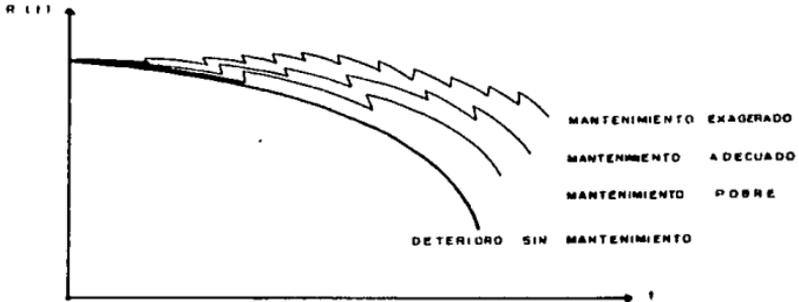


FIG. 4.7 CANTIDAD DEL MANTENIMIENTO.

Un mantenimiento exagerado no es económico, principalmente por los costos indirectos de control y administración involucrados, además de que los paros de equipo son tan frecuentes que alterarían el flujo de operación. El aumento en fiabilidad y vida, con esta aplicación de mantenimiento, difícilmente pagarían los costos por un mantenimiento exagerado, habiéndose desperdiciado esfuerzos en el mantenimiento de un equipo.

Un pobre mantenimiento no es tampoco económico, ya que la pérdida de fiabilidad en cada "valle" de la curva es muy grande y por lo tanto se está incurriendo en riesgos grandes. Las tareas de mantenimiento resultan muy caras, ya que el deterioro sufrido por las partes va más allá del calculado en diseño, llegándose a tener que substituir componentes, que de haberse mantenido antes, sólo hubieran tenido que ser reajustadas.

El mantenimiento adecuado o económico considera el estudio de probabilidad de falla, riesgos por falla, necesidad de continuidad de operación, oportunidad de paro para efectuar las tareas, factores políticos o de imagen, costo y disponibilidad de refacciones, etc.

FIABILIDAD DE LOS SISTEMAS.

Ahora trataremos de establecer la relación entre la fiabilidad de un sistema complejo con la de sus componentes individuales, quedando expresada en los siguientes términos matemáticos

$$R_s = f(R_j) \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

donde:

R_s es la fiabilidad del sistema.

R_j es la fiabilidad de los componentes individuales.

El funcionamiento de un sistema desde el punto de vista de fiabilidad se representa gráficamente mediante esquemas de bloques adecuadamente conectados entre sí, en los que cada bloque representa un subsistema o un componente.

A continuación trataremos de los sistemas en serie y de los sistemas redundantes.

Sistemas en serie.

Son aquellos en los que el fallo de uno cualquiera de sus elementos constitutivos, que ha de considerarse como un acontecimiento independiente, determina la falla del sistema completo.

La fiabilidad del sistema corresponde a la probabilidad de que todos sus subsistemas no fallen en un tiempo determinado. Esta probabilidad viene dada por el producto de las pro babilidades de buen funcionamiento de todos los subsistemas en el periodo de tiempo dado. Si el número de partes que constituyen el sistema es n , la relación se escribirá

$$R_S(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

donde $R_S(t)$ y $R_i(t)$ indican la fiabilidad del sistema y el subsistema en general. La figura 4.8 representa un sistema en serie.

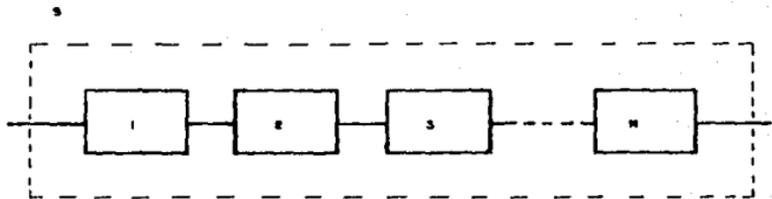


FIG. 4.8 SISTEMA EN SERIE.

Sistemas redundantes.

Se llaman redundantes aquellos sistemas en los que algunas funciones están duplicadas o triplicadas (en general multiplicadas) con objeto de conseguir una mayor fiabilidad.

Un sistema redundante es más complejo y costoso, a igualdad de prestaciones funcionales, que un sistema no redundante, pero su fiabilidad es mayor.

El esquema fundamental de un sistema redundante es el paralelo, en sus dos modalidades, el de redundancia simple y el de redundancia a funcionamiento secuencial. En el primer caso (figura 4.9) los distintos subsistemas o componentes puestos en paralelo funcionan simultáneamente, aunque el sistema funcione también si sólo funciona uno de ellos.

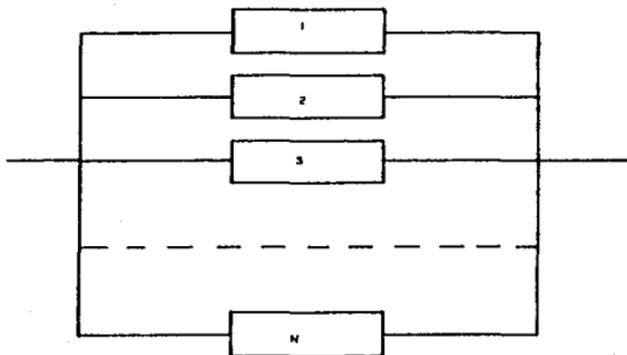


FIG. 4.9 SISTEMA REDUNDANTE (PARALELO).

En el segundo caso, en un instante determinado funciona uno solo o una parte de los componentes, mientras que los restantes permanecen en reserva, en estado de espera (stand-by). En consecuencia, en este caso la conexión funcional varía en el tiempo en función de la aparición de fallas. Esta situación es la que está asociada a la mayoría de los sistemas que se encuentran dentro de las instalaciones del CCS, y en nuestro caso bajo estudio los correspondientes a los sistemas de radiofrecuencia que entre otros son:

- Amplificadores de alta potencia (HPA).
- Command Upconverter.
- Agile Upconverter.
- Frequency Synthesizer.
- Amplificadores de bajo nivel de ruido (LNA).
- Telemetry Downconverter.
- Agile Downconverter.

En términos generales el cálculo de la fiabilidad para los sistemas redundantes, se basa en las leyes del cálculo de probabilidades.

Sea por ejemplo, un sistema compuesto por dos elementos A y B en paralelo figura 4.10

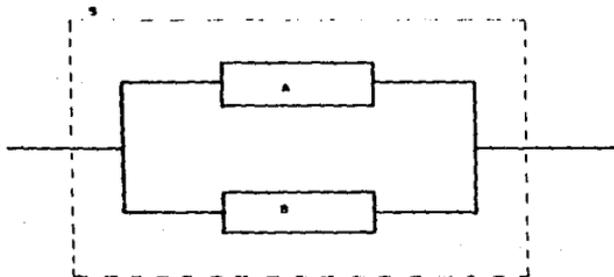


FIG 4.10 SISTEMA COMPUESTO POR DOS ELEMENTOS.

La fiabilidad del sistema **S** vendrá dada por

$$R_S = R_A + R_B - (R_A \cdot R_B)$$

El sistema falla cuando fallan ambos elementos. Las distintas situaciones que pueden presentarse y las probabilidades respectivas son las representadas en la tabla 4.1

EVENTO	A	B	PROBABILIDAD DEL SISTEMA
1	ON	ON	ON $R_A \cdot R_B$
2	ON	OFF	ON $R_A \cdot Q_B = R_A (1 - R_B)$
3	OFF	ON	ON $Q_A \cdot R_B = (1 - R_A) R_B$

ON : FUNCIONA

R : FIABILIDAD

OFF: NO FUNCIONA

Q : INFIABILIDAD

TABLA 4.1

Estas situaciones son mutuamente exclusivas por lo que la probabilidad de buen funcionamiento del sistema viene dada por la suma de las probabilidades de las respectivas situaciones favorables:

$$R_S = R_A \cdot R_B + R_A (1 - R_B) + R_B (1 - R_A) = R_A + R_B - (R_A \cdot R_B)$$

DISPONIBILIDAD DE COMPONENTES Y SISTEMAS.

Un parámetro más a tratar es el de la disponibilidad, en el que confluyen dos términos, uno de los cuales tiene en cuenta la frecuencia de las fallas y el otro el tiempo necesario para la reparación. La disponibilidad está directamente relacionada con la posibilidad de utilización del sistema, visto desde el punto de vista técnico.

A la disponibilidad puede atribuírsele dos interpretaciones: Por una parte representa el porcentaje de tiempo de buen funcionamiento del sistema en cuestión, calculada sobre un período de tiempo largo; por otra, puede interpretarse como probabilidad, y precisamente como la probabilidad de que, en un instante cualquiera el sistema (reparable) esté en funcionamiento.

La fórmula de disponibilidad A viene dada por:

$$A = UT / (UT + DT)$$

Donde:

UT : UP - TIME

DT : DOWN - TIME

UT representa el tiempo en el que el sistema está realmente disponible para el funcionamiento; DT representa el tiempo fuera de servicio imputable a causas técnicas.

El tiempo fuera de servicio de un equipo debido a fallas es el resultado de numerosos factores concurrentes.

De forma global, los tiempos de mantenimiento se pueden subdividir como sigue:

- Tiempo consumido en el diagnóstico de la falla.
- Tiempo consumido en la reparación de la falla.
- Tiempo consumido en el control de la reparación.

Evidentemente existen numerosos factores que influyen en la duración total de la reparación. Uno de ellos, son factores propios del diseño, otros de naturaleza organizativa, otros corresponden a la práctica operativa.

El análisis que precede se refiere al caso de intervenciones a la aparición de la falla. En el caso más general, el tiempo fuera de servicio de una instalación con diversos equipos durante cierto periodo es el resultado de la suma del tiempo debido a las intervenciones de mantenimiento preventivo o periódico y del tiempo debido a las operaciones de mantenimiento correctivo.

Indiquemos ahora con:

N_g el número de operaciones de mantenimiento correctivo en el periodo analizado.

N_p el número de operaciones de mantenimiento preventivo en el mismo periodo.

$MTTR_g$ el tiempo medio de reparación correctiva.

$MTTR_p$ el tiempo medio por operación de mantenimiento preventivo.

El tiempo total de paro (DT_{gp}) viene dado ahora por

$$DT_{gp} = MTTR_p \times N_p + MTTR_g \times N_g$$

En definitiva, el tiempo fuera de servicio (down - time) imputable al mantenimiento puede considerarse formado según el diagrama a bloques de la figura 4.11.

Considerando ahora la figura 4.12, en la que con T_i se indican los tiempos de funcionamiento y con τ_i los tiempos de reparación, tenemos

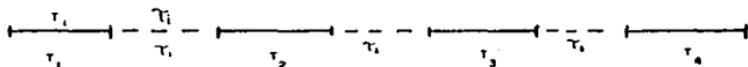


FIG. 4.12 DIAGRAMA DE TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO Y REPARACION.

UT (up - time) o tiempo total de funcionamiento en N ciclos (funcionamiento - reparación)

$$UT = \sum_{i=1}^N T_i$$

DT (down - time) respecto a los mismos N ciclos

$$DT = \sum_{i=1}^N \tau_i$$

quedando la disponibilidad (A) expresada de la siguiente forma

$$A = \frac{\sum T_i}{(\sum T_i + \sum \tau_i)}$$

En otros términos la disponibilidad A, puede quedar en términos de el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR).

$$A = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

Cabe hacer notar que el MTBF toma como origen de tiempos el instante en el que el equipo entra (o vuelve a entrar) en servicio (una vez terminado el mantenimiento), es decir, excluyendo del cómputo de tiempo el necesario para el mantenimiento preciso para

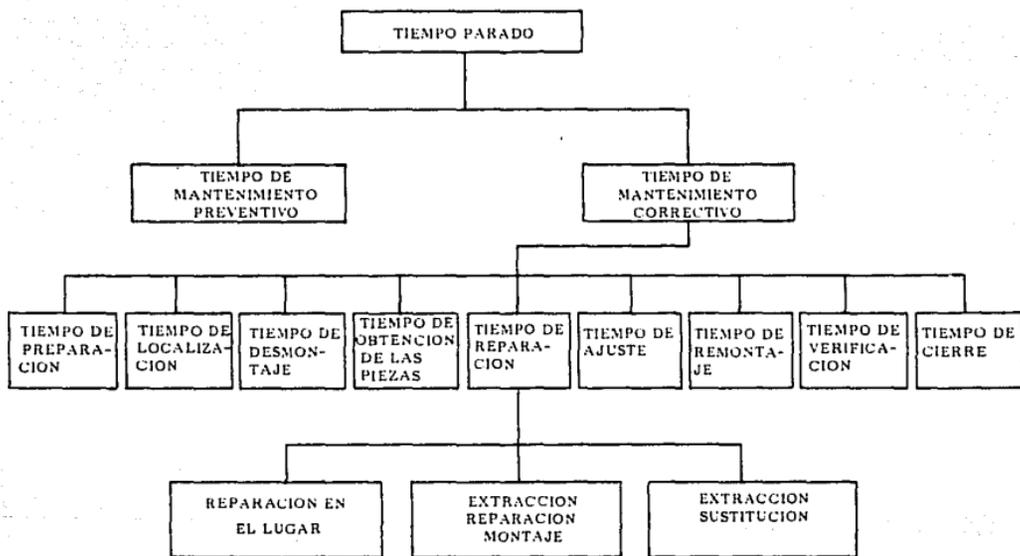


FIGURA 4.11 TIEMPO FUERA DE SERVICIO (DOWN-TIME)

reemprender el funcionamiento.

En los casos prácticos, conociendo el valor del tiempo medio entre fallas de un equipo y el tiempo medio de reparación, se puede calcular rápidamente la disponibilidad del equipo mediante el nomograma de la figura 4.13.

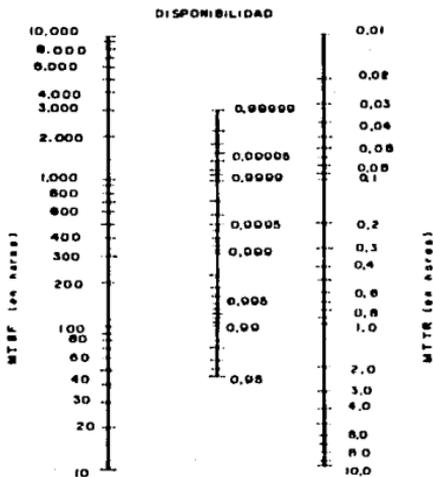


FIG. 4.13 NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD.

4.4 LOS RECURSOS HUMANOS DENTRO DEL MANTENIMIENTO.

El personal dentro de los servicios de mantenimiento, representa un elemento principal de los recursos asociados a tal actividad. Los recursos del servicio de mantenimiento están constituidos por tres elementos fundamentales:

- 1) El personal
- 2) Los instrumentos
- 3) Los materiales

La interacción de tales elementos queda representada en la figura 4.14.

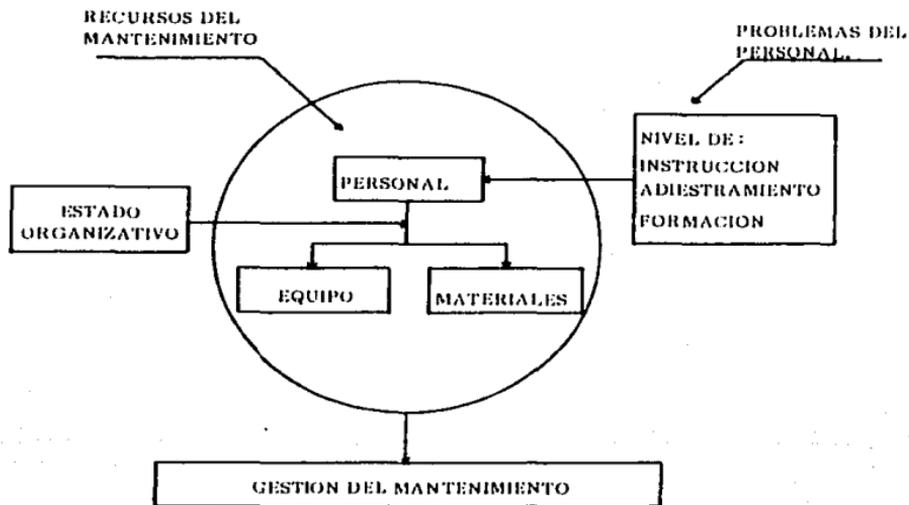


FIGURA 4.14 RECURSOS DEL MANTENIMIENTO.

El grado de eficiencia del servicio queda determinado por la forma en que el personal sabe y puede usar los otros dos recursos: instrumentos y materiales.

Se ve, la importancia que adquiere dentro de la instalación el personal de mantenimiento y todos los problemas con él relacionados; problemas que derivan de factores humanos, de la relación "hombre-máquina", y del ambiente y estado organizativo en el que tiene que trabajar.

Por cierto, cabe señalar que el rendimiento eficaz de todo trabajador está en función de diversos factores que marcan la psicología del trabajo, tales como:

- Las condiciones ambientales del centro de trabajo.
- El estado de ánimo y físico.
- La capacitación e instrucción acerca de los métodos más eficientes y los movimientos más económicos, que se deben aplicar al trabajar.
- Conceder estímulos y recompensas.
- Salarios con poder adquisitivo.

La administración del mantenimiento está por lo tanto condicionada además por los recursos, por las características intrínsecas del personal.

En cuanto a la función principal del personal de mantenimiento es la de asegurar la máxima disponibilidad de la unidad productiva al menor costo posible para que su retorno económico a lo largo del tiempo sea aceptable.

El personal de mantenimiento debe sentir que forma parte de un organismo que, aunque ligado a la cantidad y calidad del servicio que en este caso es el control de los Satélites Morelos, es completamente autónomo desde el punto de vista operativo y de gestión, por lo tanto, la responsabilidad directa del personal de mantenimiento debe limitarse solamente a las actividades que de algún modo influyen sobre la eficiencia de la instalación, evitando

cualquier otra que pueda ser asumida por otros servicios del establecimiento.

Diferentes situaciones referentes al personal del Área de Mantenimiento se han tratado en el capítulo anterior, mismas que hay que tomarlas en consideración con el fin de llevarlas a cabo.

4.5 SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

La seguridad e higiene del trabajo al sistematizarse, se convierte en una más de las ramas de las ciencias de la salud, con carácter preventivo, debido a llevar precisamente su acción de conjunto de medidas preventivas de accidentes y enfermedades, a todos aquellos locales donde, con motivo del desempeño de su trabajo, el individuo está expuesto a que su salud resulte dañada y aun a sufrir la pérdida de su vida; por lo que las normas jurídicas deben regir en lo conducente la instalación y funcionamiento de los centros de trabajo, con el objeto de mantener la seguridad ocupacional.

La Organización Internacional del Trabajo (O.I.T.) define la seguridad ocupacional como "El proceso por el que se ha de promover y mantener el más alto grado de bienestar físico, mental y social de los trabajadores de todas las profesiones; prevenir todo daño que se le pueda causar en su salud como consecuencia de las condiciones del trabajo; protegerlos en su empleo contra los riesgos resultantes por la presencia de agentes perjudiciales; colocar al trabajador en un empleo conveniente a sus aptitudes fisiológicas y psicológicas y en suma, adaptar el trabajo al hombre y cada hombre a su trabajo".

Los riesgos que trata de reducir la salud ocupacional son los mismos que desde el principio de la historia del hombre, han sido consecuencia negativa del trabajo: El accidente y la enfermedad.

El sentido de accidente de trabajo se define como: Un fenómeno que se produce bruscamente en el sitio de trabajo o en el trayecto entre éste y el domicilio del trabajador o

viceversa y que detiene temporalmente las actividades normales de la vida diaria en el trabajo, causando siempre en grado mayor o menor, pérdidas de tiempo, desperdicio de materiales, desequilibrio psíquico temporal y que ocasionalmente llegará a producir lesiones físicas que pueden ser leves o graves, dejar secuelas temporales o irreversibles y en caso extremo, causar la muerte de quien las sufrió.

El accidente de trabajo expresado matemáticamente es:

[Conducta insegura o peligrosa] + [Condición insegura o peligrosa] = Accidente

Por lo expuesto las normas de seguridad recomiendan:

- 1) El uso de equipo de protección en lugares cuyas condiciones inseguras o peligrosas son inmodificables.
- 2) Hacer inspección permanente de las áreas de trabajo y de tránsito para modificar oportunamente las condiciones inseguras o peligrosas susceptibles de ser modificadas.
- 3) Darle al trabajador los elementos educativos suficientes para que conozca los riesgos del sitio en que trabaja, que modifique su conducta, cambie sus malos hábitos y se haga consciente de su función en el proceso de seguridad y de la enorme posibilidad que hay de reducir los riesgos, mediante una actitud adecuada que lo haga partícipe activo de este proceso de seguridad y deje de ser elemento pasivo.

Considerando estas normas, el Area de Mantenimiento debe responsabilizarse de minimizar los riesgos debidos a condiciones inseguras de las instalaciones y los equipos para el trabajador por:

- a) Deterioro normal
- b) Deterioro acelerado por : Condiciones inadecuadas de operación.

Condiciones externas.

Se observa así, que el personal de mantenimiento puede estar sujeto a mayores riesgos por su condición lógica del trabajo al corregir fallas, incluso bajo condiciones adversas, que en muchos casos son las causas principales de accidentes. Esto marca que los trabajadores deben conocer, tanto para aceptar y aplicar la medida de seguridad, como para saber como iniciar los primeros auxilios, que en general consistirán en:

- Aflojar la ropa del paciente, si se requiere.
- Hacer la inspección del mismo.
- Permitirle acceso al aire puro.
- Impedir que se le haga deglutir cualquier líquido o sólido, hasta que llegue el médico.
- Inmovilizar los huesos fracturados del lesionado, en caso necesario.
- En caso de hemorragia, precionar las arterias o venas sangrantes.
- Pedir ayuda médica y dar aviso a las autoridades.

Se espera que el personal de mantenimiento sea capacitado en el concepto de primeros auxilios con atención especial, ya que es el personal que probablemente conozca más el origen y trascendencia del accidente y en aquellos casos en que persiste el origen de éste, por lo tanto, el técnico o ingeniero de mantenimiento es el más indicado para minimizar o eliminarlo.

4.6 DOCUMENTACION Y REGISTRO DEL MANTENIMIENTO.

Para obtener un funcionamiento y control apropiado en las operaciones de mantenimiento, es esencial contar con la documentación correspondiente para tal efecto. Por lo que a continuación, se proponen las siguientes formas mínimas necesarias, en el Área de Mantenimiento.

REGISTRO DEL EQUIPO

Los registros del equipo son necesarios en el mantenimiento para el anuncio de reparaciones, cambios y piezas de repuesto así como para la asignación de programas de

inspección. El valor de estos informes es ilimitado. En caso de falla, pueden conseguirse inmediatamente especificaciones exactas del equipo y los componentes, así como el nombre y dirección del fabricante. Si la cuestión se refiere a localización, fecha de adquisición, modelo, No. de serie, la información se encuentra en la forma de la figura 4.15.

Cuando el número de piezas para una unidad es grande, pueden anotarse en una hoja separada que se adjunta al registro del equipo. Una lista de piezas de repuesto es una ayuda necesaria tanto para el supervisor que tiene la responsabilidad de mantener el equipo en funcionamiento, así como al empleado del almacén para el control de existencia. Ver figura 4.16.

Una utilidad más de las formas de registro de equipo es para la formación del inventario.

ORDEN DE TRABAJO POR FALLA DEL EQUIPO.

Las ordenes de trabajo son peticiones escritas de servicios a cumplir por el Area de Mantenimiento y que gira el Area de Control. Esta forma proporciona un registro del control de los servicios a efectuarse debido a fallas en los diversos sistemas de RF, así como los datos sobre los cuales se preparan las demandas de material y se hacen asignaciones de tareas al personal. Ver la figura 4.17. Por otro lado, éste tipo de información comprende toda la utilizable para el análisis de fiabilidad, por lo que se convierte en una herramienta para el ingeniero de servicio que verifique al equipo en cuestión. La orden de trabajo servirá a futuro como referencia para la solución de fallas similares.

ORDEN DE SALIDA DEL ALMACEN.

Todos los artículos contenidos en el almacén del Area de Mantenimiento deben tener una identificación a base de número de pieza para simplificar el inventario y el costo. La figura 4.18 es una orden de salida de almacén, la cual muestra un modelo para retiros de piezas, herramientas, refacciones y suministros. En este caso la persona que retira el material firmará la forma. En dicha forma pueden indicarse los datos tales como el número de orden

de trabajo, fecha, número de inventario del equipo tec.

REGISTRO PARA LA INSPECCION DEL MP.

Se requiere de una lista de inspección para cada equipo, tales como: IIPAs, LNAs, Command Upconverter, etc., los cuales deben ser preparados. En el mayor de los casos, los equipos sometidos a verificación necesitan de la información proporcionada por el proveedor, ya que es suficiente para completar una lista de chequeo, la cual entre otras cosas principalmente especifican además de sus partes, los respectivos requerimientos para la frecuencia de inspección. Hay que considerar que dicha frecuencia depende de factores tales como la edad del equipo, el estado, las horas de funcionamiento diarias dentro del control de los satélites. En la figura 4.19 se observa una forma para registrar los informes de las inspecciones.

HISTORIAL DEL EQUIPO.

Dicho documento no es más que una relación cronológica de los datos correspondientes a las intervenciones efectuadas sobre el equipo. Sirve además para descubrir particulares anomalías del funcionamiento e implantar correctamente el mantenimiento preventivo sobre cada equipo en particular. Los datos contenidos en el diario de equipos, se someterán periódicamente a proceso estadístico para obtener determinados parámetros de fiabilidad y mantenibilidad (MTBF, MTTR). Los datos a transcribir en el historial son básicamente: Fecha de intervención y descripción resumida de los trabajos realizados. Figura 4.20.

REGISTRO DE COSTOS.

El registro de costos y la distribución de la información de los costos se deberá adaptar de la mejor manera para satisfacer una evaluación del funcionamiento del Área de Mantenimiento, es decir se contarán con bases para "medir" la efectividad económica del funcionamiento con respecto al empleo de fuerza de trabajo y de materiales, usándose se conocerán las tendencias generales en los costos de mantenimiento. Lo anterior es un método para considerar los intereses de la S.C.T. Una forma típica a emplear es la que tenemos en la figura 4.21.

S.C.T.	REGISTRO DEL EQUIPO		D.G.T.
	AREA DE MANTENIMIENTO	RADIOFRECUENCIA	
DESCRIPCION		FOLIO	
FABRICANTE		No. SERIE	
VENDEDOR (REPRESENTANTE)		No. INVENTARIO	
DIRECCION		MODELO	
FECHA	COMPRA	No. DE PEDIDO	
	RECIBIDO		
	INSTALADA	DIARIO	
LOCALIZACION		SEMANAL	
DIMENSIONES		ENERO	
DATOS Y COMENTARIOS DESCRIPTIVOS ADICIONALES		FEBRERO	
		MARZO	
		ABRIL	
		MAYO	
		JUNIO	
		JULIO	
		AGOSTO	
		SEPTIEMBRE	
		OCTUBRE	
		NOVIEMBRE	
		DICIEMBRE	
		OBSERVACIONES	

FIG. 4.15

S.C.T.	ORDEN DE TRABAJO POR FALLA DE EQUIPO		D.G.T.
	AREA DE MANTENIMIENTO	RADIOFRECUENCIA	
SISTEMA		No. DE SERIE	
LOCALIZACION		ORDEN DE TRABAJO No.	
FECHA DE INICIO		FECHA FINALIZACION	
EQUIPO REDUNDANTE UTILIZADO			
DESCRIPCION DE LA FALLA			
PERSONAL ASIGNADO			
ACCION TOMADA			
REFACCIONES UTILIZADAS		COSTO (PRESUPUESTO)	
OBSERVACIONES			
_____ SUPERVISOR		_____ JEFE DEL AREA	

FIG. 4.17

S.C.T.	ORDEN DE SALIDA DEL ALMACEN		D.G.T.
	AREA DE MANTENIMIENTO	RADIOFRECUENCIA	
O.T. No.	FECHA	FOLIO No.	
DESTINADO PARA:			
CANTIDAD	MATERIALES, HERRAMIENTAS, REFACCIONES, ETC. No. INVENTARIO	COSTO	
Vo. Bo. JEFE DE AREA	ALMACENISTA	SOLICITANTE	

S.C.T.	REGISTRO PARA LA INSPECCION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO											D.G.T.
	AREA DE MANTENIMIENTO						RADIOFRECUENCIA					
SISTEMA											FOLIO	
- SENALE CON ✓ SI ESTA CORRECTO.												
PROCEDIMIENTO												
- MARQUE CON X SI REQUIERE REPARACION O AJUSTE.												
COMPONENTES A CHECAR	DEF.	OK	DEF.	OK	DEF.	OK	DEF.	OK	DEF.	OK	DEF.	OK
FRECUENCIA DIARIO, SEMANAL, MENSUAL, ETC.												
INSPECCIONADO POR (FECHA)												
ANOTAR TRABAJOS ADICIONALES NECESARIOS PARA PONER EL EQUIPO EN CONDICIONES OPTIMAS, ASI COMO LAS OBSERVACIONES.												

FIG. 4.19

S.C.T.	HISTORIAL DEL SISTEMA		D.G.T.	
	AREA DE MANTENIMIENTO	RADIOFRECUENCIA		
SISTEMA			FOLIO	
COSTO DEL EQUIPO	FECHA DE INSTALACION.	FECHA INICIO DE SERVICIO	No. DE SERIE	
FECHA DE TRABAJO	TRABAJOS REALIZADOS.	HORAS DE FUNMTO.	REFACCIONES Y MATS.	COSTO

FIG. 420

S.C.T.	REGISTRO DE COSTOS		D.G.T.	
	AREA DE MANTENIMIENTO	RADIOFRECUENCIA		
DESCRIPCION DEL TRABAJO				
REFERENCIAS	COMPRAS	FLETE	ALMACENES	MANO DE OBRA
SUMA				
TOTAL				

FIG. 4.21

4.7 PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

El objetivo de este apartado es presentar una programación de operaciones del MP que deben efectuarse, así como la frecuencia con que se ejecutarán cada una de ellas; mediante una forma o estructura, la cual está basada en : recomendaciones del fabricante; la sección 4.2 del sistema MP ya vista; además de la experiencia adquirida que se pudiera haber obtenido en los sistemas de RF descritos. Cabe señalar que no se deben subestimar los medidores de tiempo o totalizadores como una de las bases de la programación, debido a que muestran el tiempo utilizado en horas. Como ejemplo, los horómetros son útiles en equipos que funcionan de forma regular (HPAs, fuentes de alimentación).

Al cumplirse al máximo posible la programación del MP, se podrán abatir situaciones inconvenientes tales como tiempo muerto, excesivos gastos económicos y por consecuencia obtener un alto grado de seguridad en los sistemas y equipos de la etapa de RF para el control de los satélites mexicanos.

En el programa se desglosan los sistemas y equipos; se indican las frecuencias del MP, se marcan la (s) actividad (es) a ejecutar y otros aspectos. La forma puede usarse como una lista maestra para generar las órdenes de trabajo de MP o también, como una orden en blanco para todo el año.

Cabe recordar que antes de ejecutar las acciones de MP a los equipos de radiofrecuencia, se deberá coordinar con los controladores a fin de evitar anomalías en las configuraciones de las estaciones y por lo tanto evitar interferencias en el control de los satélites Morelos.

El momento más propicio para el MP es cuando el equipo se encuentra en la condición de "fuera de línea".

Las abreviaciones para los periodos del MP a utilizar son:

- D : Diario.
- Q : Quincenal.
- M : Mensual.
- 2M : Bimestral.
- 3M : Trimestral.
- 6M : Semestral.
- A : Anual.
- 2A : Bianual.
- 3A : Trianual.

La simbología a emplear para indicar las actividades del MP, será la que a continuación se detalla.

	LIMPIEZA
	INSPECCION
	LUBRICACION
	PRUEBA
	AJUSTE O CALIBRACION
	REEMPLAZO
	MEDICION

Independientemente del equipo de medición señalado en el capítulo 3, se requerirá del siguiente material para efectuar la limpieza y lubricar las partes que lo requieran.

- Aspiradora (compresora de baja presión 9 lb/in²)
- Jerga.
- Isopos.
- Trapo.
- Estopa.
- Brocha de cerdas duras.
- Alcohol Isopropílico, grado A.
- Grasa (consistencia # 2; PT 265-295).
- Aceite (SAE 20).
- Aceite para transmisión.
- Detergente líquido.
- Agua destilada.
- Aceite (SAE 90).
- Lubriplate 630-2.
- Chevron SRI-2.
- Exxon Beacon 325.
- Exxon Nebul EP-0.
- Exxon Surret, Fluido 4K.
- Mobil Mobilplex 45.
- Grasa para chasis.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
AREA DE MANTENIMIENTO
CCSM - RF

AMPLIFICADORES DE ALTA POTENCIA (HPA) TWT Y KLYSTRON							
F	COMPONENTES	L	U	G	P	A	R
D	Medidores de parámetros de operación Unidades de aire acondicionado.	X	X				
M	Filtros del aire. Ventiladores del gabinete. Batería 12 V para control lógico (Klystron). Conectores y clavijas. Cableado eléctrico. Sistema de presurización.	X	X		X		X
2M	Selector para el camino de transmisión.	X	X				
3M	Sistema refrigerante y alto voltaje. Conexiones de soldadura. Switchs de protección (interlock). Banco de switchs para selección de HPA. Banco de switchs para U/I. (polarización). Banco de switchs para FI. Unidad de control para banco de switchs de HPA.	X	X				
6M	Prueba de envejecimiento del HPA redundante. Alarmas y circuitos de protección. Gabinete (externo - interno). Detectores del flujo de aire (Klystron). Inspección mecánica. Fuentes de alimentación.				X		
			X		X		
		X	X	X			
		X	X	X	X	X	
			X				
		X	X				

F	COMPONENTES	L	D	G	P	A	R
A	Guías de onda. Medidor corriente hélice (TWT). Medidor potencia de entrada. Medidor potencia reflejada. Medidor potencia de salida. Medidor voltaje de hélice (TWT). Medidor voltaje de línea. Medidor corriente de filamento. Medidor voltaje de filamento. Medidor fuente de 24 V. Medidor fuente de 15 V. Medidor voltaje de BEAM (Klystron). Medidor corriente de BEAM (Klystron).		X X X X X X X X X X X X X X X			X X X X X X X X X X X X X X X X	
2A	Bateria 12 V (Klystron).						X
3A	Ventiladores y extractores. Tubo amplificador.						X X

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
AREA DE MANTENIMIENTO
COSM - RF**

COMMAND UP CONVERTER		(D)	(I)	(G)	(P)	(A)	(U)	(B)
F	COMPONENTES							
D	Indicadores de panel frontal .		X					
Q	Monitoreo frecuencia-potencia de entrada (FI).		X					X
	Monitoreo frecuencia-potencia de salida (DISH-OMNI).		X					X
	Monitoreo 1er. OL (6105 Mhz).		X					X
	Monitoreo 2do. OL (247 Mhz).		X					X
	Monitoreo barrido 100 Hz.		X					X
	Punto de prueba fuente + 28 V.		X					X
	Punto de prueba fuente - 15 V.		X					X
	Punto de prueba fuente + 24 V.		X					X
	Punto de prueba voltaje de fase ϕ (1r OL).		X					X
2M	Gabinete (interior-exterior).	X	X					
	Interruptores.	X	X		X			
	Cableado y conectores.		X					
6M	Guías y baleros.	X		X				
3A	Ventilador.						X	
COMMAND TEST LOOP TRANSLATOR								
D	Indicadores del panel frontal .		X					
Q	Monitoreo frecuencia y potencia de entrada .		X					X
	Monitoreo frecuencia y potencia de salida .		X					X
	Monitoreo frecuencia de barrido 247 Mhz .		X					X
	Monitoreo 2do. OL .		X					X
	Punto de prueba ϕ V 2do. OL .		X					X
	Punto de prueba fuente + 28 V.		X					X
2M	Gabinete (interior-exterior).	X	X					
	Interruptores.	X	X		X			
	Cableado y conectores.		X					
6M	Guías y baleros.	X		X				
3A	Ventilador.						X	
AGILE UP CONVERTER								
D	Indicadores del panel frontal .		X					
Q	Monitoreo frecuencia y potencia de entrada .		X					X
	Monitoreo frecuencia y potencia de salida .		X					X
	Monitoreo frecuencia OL (5 Mhz).		X					X
	Punto de prueba ϕ V LO 1A .		X					X
	Punto de prueba ϕ V LO 1B.		X					X
	Punto de prueba ϕ V LO 2 .		X					X
	Punto de prueba fuente + 20 V.		X					X
	Punto de prueba fuente + 5 V .		X					X
2M	Gabinete (interior-exterior).	X	X					
	Interruptores .	X	X		X			
	Cableado y conectores.		X					
6M	Guías y baleros.	X		X				
3A	Ventiladores.						X	

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
AREA DE MANTENIMIENTO
CCSM - RF**

TELEMETRY DOWN CONVERTER								
F	COMPONENTES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
D	Indicadores del panel frontal.		X					
Q	Monitoreo frecuencia de salida.		X					X
	Monitoreo potencia de salida.		X					X
	Monitoreo ϕ V LO 1A.		X					X
	Monitoreo ϕ V LO 1B.		X					X
	Monitoreo ϕ V LO 2A.		X					X
	Monitoreo ϕ V LO 2B.		X					X
	Punto de prueba fuente + 2 OV.		X					X
	Punto de prueba fuente + 5 V.		X					X
	Punto de frecuencia y potencia LO 1.		X					X
	Punto de prueba frecuencia y potencia LO 2.		X					X
2M	Gabinete (interior-exterior).	X	X					
	Cableado y conectores.		X					
	Interruptores.	X	X		X			
5M	Guías y baleros.	X		X				
3A	Ventilador.						X	
AGILE DOWN CONVERTER								
D	Indicadores del panel frontal.		X					
Q	Monitoreo frecuencia y potencia de entrada.		X					X
	Monitoreo frecuencia y potencia de salida.		X					X
	Monitoreo frecuencia OL (5 Mhz).		X					X
	Punto de prueba ϕ V LO 1.		X					X
	Punto de prueba ϕ V LO 2A.		X					X
	Punto de prueba ϕ V LO 2B.		X					X
	Punto de prueba fuente + 20 V.		X					X
	Punto de prueba fuente + 5 V.		X					X
2M	Gabinete (interior-exterior).	X	X					
	Interruptores.	X	X		X			
	Cableado y conectores.		X					
6M	Guías y baleros.	X		X				
3M	Ventiladores.						X	

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
AREA DE MANTENIMIENTO
CCSM - RF**

SINTETIZADOR DE FRECUENCIAS								
F	COMPONENTES	D	U	G	P	A	R	M
D	Indicadores del panel frontal.		X					
Q	Monitoreo frecuencia y nivel de RF de salida .		X					X
	Monitoreo frecuencia y nivel del oscilador 5 Mhz.		X					X
	Monitoreo de la fuente de + 5 V.		X					X
	Monitoreo de la fuente de + 14 V.		X					X
	Monitoreo de la fuente de - 12 V.		X					X
2M	Gabinete (interior-exterior).	X	X					
	Peine de conexiones .	X	X					
	Cableado y conectores .		X					
	Interruptores .	X	X		X			
6M	Guías y buleros .	X		X				
ANTENA T C								
D	Indicadores del panel de estado y control .		X					
	Manómetros del sistema de presurización.		X					
M	Sistema de presurización .	X	X		X			
	Ductos del sistema de presurización.	X	X		X	X		
2M	Filtro-ventilador racks .	X	X					
	Fuentes de alimentación.	X	X		X			
3M	Subsistema de LNAs .	X	X					
	Accesorios del cubo de la antena .	X	X					
	Guías de onda y cables coaxiales.	X	X					
6M	Unidad p/control y monitoreo LNAs .	X	X		X			
	Interface de RF.	X	X		X			
	Interruptores de límite .	X	X		X	X		
A	Panel de estado y control .	X	X		X			
	Cojinete y motor de elevación .	X	X	X	X			
	Cojinete y motor de acimut .	X	X	X	X			
	Guía y motor del polarizador.	X	X	X	X			
	Filtro del compresor del presurizador.						X	
	Unidad de control de antena .	X	X		X	X		
3A	Ventana del presurizador (Mylar) .						X	
	Tornillería en general.					X		

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
AREA DE MANTENIMIENTO
CCSM - RF

143

ANTENA TTAC								
F	COMPONENTES	①	②	③	④	⑤	⑥	
D	Indicadores del panel de estado y control. Manómetros del sistema de presurización. Unidades de aire acondicionado.		X X X					
M	Sistema de presurización . Ductos sistema de presurización .	X X	X X		X X		X	
2M	Filtros turbinas motores de enfriamiento (acimut). Filtro ventilador motor de enfriamiento (elevación). Paros de emergencia . Filtro ventilador racks . Fuentes de alimentación .	X X X X X	X X X X X			X		
3M	Cojinetes motores de enfriamiento acimut . Cojinete motor de enfriamiento elevación . Subsistema de LNAs . Accesorios del cubo de la antena . Guías de onda y cables coaxiales .	X X X X X	X X X X X	X X				
6M	Tornillos sin fin para elevación (1)*. Cojinetes p/movimiento en elevación (2,3). Cojinetes p/ejes de elevación (4). Acoplador de límite (torque), elevación (5). Caja de engranes para acimut (6). Cojinete de acimut (corona) (7). Piñón y engrane giratorio de acimut (8). Cojinete de la caja (transductor) acimut (11). Gabinete servo manejo . Unidad p/control y monitoreo LNAs . Interruptores de límite .	X X X X X X X X X X X X	X X X X X X X X X X X X	X X X X	X X X X		X	
A	Cojinetes y motor de elevación (9) . Cojinetes y motores de acimut (10). Cojinete y motor del polarizador. Filtro del compresor presurizador. Unidad de control de antena . Unidad de control del polarizador. Panel de estado y control .	X X X X X X X	X X X X X X X	X X X	X X X			X
3A	Tornillería en general . Ventana del presurizador (mylar) .						X X	

* Ver figura 4.22, en la cual se muestran los puntos a lubricar en la antena.

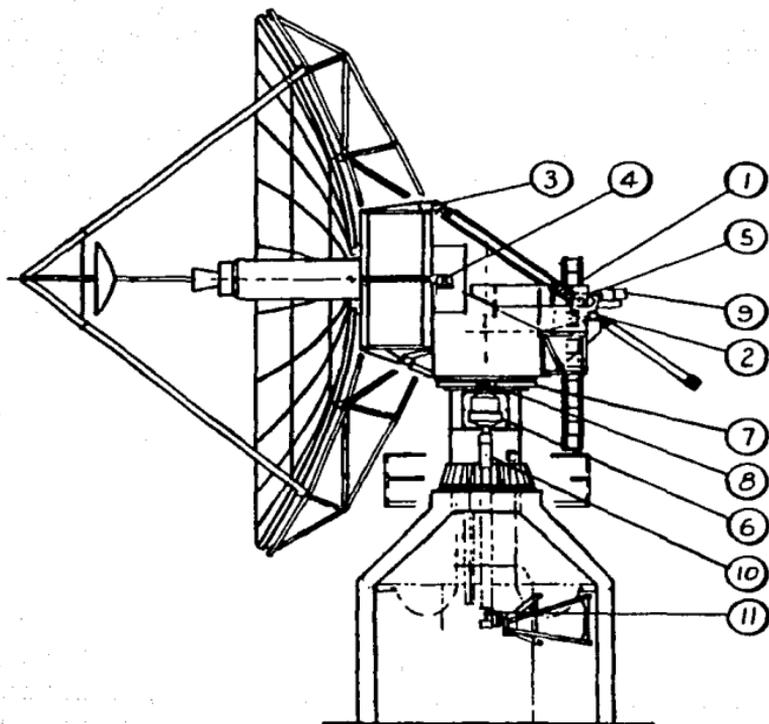


FIG. 4.22 PARTES A LUBRICAR EN LA ANTENA TTAC.

4.8 MEDICIONES Y CALCULOS EN LOS SISTEMAS DE RF.

Las mediciones, verificaciones de parámetros de operación y ajustes necesarios, juegan un papel importante dentro de los mantenimientos, por lo que en esta sección se proponen pruebas prácticas mismas que en un momento dado se podrán realizar en el laboratorio o si fuera necesario en el lugar donde se encuentre el sistema bajo evaluación. Asimismo se hacen algunas consideraciones teóricas conjuntamente con el auxilio de gráficas para poder obtener los resultados correspondientes.

Cabe recordar que las frecuencias de operación quedan comprendidas en el rango de las microondas para sistemas de RF, salvo las señales de entrada en la cadena ascendente o las señales de salida en la cadena descendente que corresponden a banda base y son del orden de 70 Mhz.

Iniciaremos mencionando que la impedancia (Z) de la mayoría de las cargas en frecuencias de microondas, es un valor complejo y es uno de los parámetros a considerar en estas mediciones. En todos los casos prácticos donde Z de la carga difiera aunque ligeramente de la impedancia de la fuente o línea de transmisión, existirá energía reflejada, de tal forma que se creará una onda estacionaria.

La longitud de la línea de transmisión o guía de onda usada para conectar carga y fuente, puede ser eléctricamente lo suficientemente grande como para transformar la impedancia de la carga a algún otro valor en las terminales de la fuente.

Lo que la fuente "ve" está determinado por la impedancia de la carga, la longitud eléctrica de la línea y la impedancia característica (Z_0) de la misma.

Un caso ideal de acoplamiento, es donde todos los elementos de un sistema, tienen la misma impedancia (Z_0) de la línea y mientras ésta se conserve, existirá máxima transferencia de energía.

Desafortunadamente y en términos generales, ni las fuentes ni cargas tienen una impedancia Z_0 . Además, las impedancias casi nunca son completamente conocidas, generalmente son dadas sólo en forma de relación de onda estacionaria (ROE: ó SWR del inglés Standing Wave Ratio), dando como resultado que la potencia entregada a la carga, y por lo tanto la atenuación o pérdidas por desacoplamiento, puedan describirse entre dos límites. Esta incertidumbre crece con el SWR, motivo fundamental para que los fabricantes de componentes o sistemas de RF traten de reducirlo al máximo.

MEDICION SWR.

Existen actualmente métodos para evaluar convenientemente el coeficiente de reflexión, el SWR y por lo tanto la impedancia. Los métodos son:

- Medidor de SWR con sección de línea de transmisión ranurada.
- Reflectómetro.

Medición del SWR con la sección de línea de transmisión ranurada.

Una de las mediciones que pueden realizarse en un sistema de transmisión, es la de la amplitud relativa de las intensidades de campo eléctrico o magnético, mediante el uso de línea ranurada. En línea ranurada el campo eléctrico excita una antena de prueba (sonda) que es colocada en el interior de la guía, la salida de la sonda se conecta directamente a un voltmetro u osciloscopio. La indicación es proporcional a la amplitud del campo eléctrico.

Cuando una onda viajera es reflejada por un conductor perfecto el campo total es una onda estacionaria y la sonda de voltaje indicará una señal de salida cero cuando está localizada a un múltiplo entero de media longitud de onda desde la superficie reflectora; a medida que se cambia la posición de la sonda, la señal de salida varía. La sonda es insensible a la fase o a la velocidad de fase del campo eléctrico.

La relación de la máxima amplitud a la mínima amplitud del campo eléctrico se define como relación de onda estacionaria y se indican con las letras SWR:

$$\text{SWR} = E_{\text{máx}} / E_{\text{mín}} \quad (4.1)$$

El valor máximo corresponde a la suma de las amplitudes de las ondas incidente (E_i) y reflejada (E_r), figura 4.23. El valor mínimo corresponde a su diferencia de amplitudes para diferentes instantes de tiempo. Esto se puede observar en la figura 4.24.

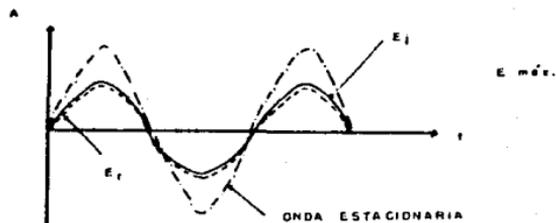


FIG 4.23

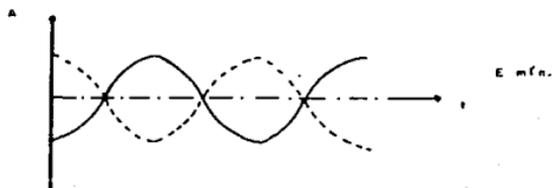


FIG 4.24

Donde:

$$E_{\text{máx}} = E_i + E_r$$

$$E_{\text{mín}} = E_i - E_r$$

A partir de lo anterior y por definición de SWR se procederá a encontrar el coeficiente de reflexión (R).

$$SWR = E_{\text{máx}} / E_{\text{mín}} = ((|E_i| + |E_r|) / (|E_i| - |E_r|)) \quad (4.2)$$

$$SWR = \frac{\frac{|E_i| + |E_r|}{|E_i|}}{\frac{|E_i| - |E_r|}{|E_i|}}$$

$$SWR = \frac{1 + (|E_r| / |E_i|)}{1 - (|E_r| / |E_i|)}$$

$$SWR = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad (4.3)$$

La relación de los campos eléctricos de las ondas reflejada e incidente se define como el coeficiente de reflexión R o ρ .

$$R = E_r / E_i = \rho \quad (4.4)$$

$$\rho = SWR - 1 / SWR + 1 \quad (4.5)$$

Ya que el SWR es una relación de amplitudes, las amplitudes relativas proporcionadas por una sonda permiten determinar experimentalmente el SWR, por lo que el SWR es un parámetro importante a medir en una línea de transmisión.

La siguiente ecuación relaciona al coeficiente de reflexión y las impedancias de los medios.

$$R = E_r/E_i = \rho_{\text{L}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (4.6)$$

Donde:

Z_L - es la impedancia de carga .

Z_0 - es la impedancia característica de la línea de transmisión .

E_r - es el voltaje de la onda reflejada .

E_i - es el voltaje de la onda incidente .

Gráficamente la fase angular es la diferencia angular entre las ondas incidente y reflejada en el plano de referencia.

Las siguientes expresiones indican los intervalos de operación del SWR y ρ .

$$1 \leq \text{SWR} \leq \infty$$

$$0 < \rho < 1$$

Cabe hacer notar que existirá la máxima transferencia de energía si tenemos la condición de un acoplamiento de impedancias en donde para un caso ideal $\rho = 0$ y el SWR = 1.

Un método para evaluar el SWR y el coeficiente de reflexión, es mediante el uso de una guía de onda ranurada.

El arreglo típico de equipos e instrumentación a utilizar son los que se muestran a continuación: Figura 4.25

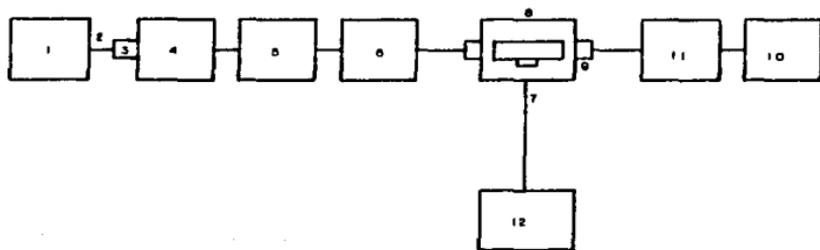


FIG. 4.25

Donde:

- 1) Generador de barrido.
- 2) Cable coaxial de 50 Ω con conectores N (RG - 214 / U).
- 3) Adaptador de guía de onda a cable coaxial.
- 4) Aislador de ferrita.
- 5) Frecuencímetro de cavidad.
- 6) Atenuador calibrador.
- 7) Cable coaxial con conectores BNC (RG - 223 / U).
- 8) Guía de onda ranurada.
- 9) Detector de guía de onda ranurada.
- 10) Carga terminal para guía de onda.
- 11) Guía de onda impedancia variable.
- 12) Medidor de SWR (ROE).

El procedimiento de medición es como sigue:

1) El generador de barrido entrega una portadora de RF modulada a la guía de onda ranurada, pasando primeramente a través del aislador de ferrita lo que permitirá que la energía electromagnética viaje en un solo sentido para proteger al generador; con el frecuencímetro podemos verificar en un momento dado la frecuencia exacta que está enviando el generador y por último, antes de llegar a la guía de onda ranurada, se tendrá la posibilidad de ajustar el nivel de la señal entrante, mediante el atenuador.

2) El voltaje de la onda estacionaria se mide por medio de un detector en la sección ranurada.

3) El detector se conecta al medidor de SWR, el cual indicará la relación de onda estacionaria, considerando las posiciones máximas y mínimas registrándose por el SWR.

4) La carga se reemplaza por un corto circuito, y se anota el cambio en la posición del mínimo.

5) Con este dato, y utilizando la carta de Smith, se determina, tanto la magnitud y fase del coeficiente de reflexión como la impedancia.

Si la carga es un corto circuito, los patrones de onda estacionaria son como se muestran en la figura 4.26. El voltaje es cero en la carga y máximo a una distancia de $1/4$ de la carga. Los puntos de voltaje mínimo se repetirán a una distancia de la carga de $\lambda/2$ a lo largo de la guía de onda ranurada. Similarmente, los puntos máximos se repiten en intervalos de media onda, ocurriendo en ondas a $1/4$, $3/4$ y $5/4$ sucesivamente a lo largo de la línea, comenzando desde la carga. Voltaje e impedancia máximos y mínimos aparecen en los mismos puntos.

El patrón de onda estacionaria de la figura 4.27 se obtiene con circuito abierto en el extremo de la carga, el cual es exactamente opuesto al caso de corto circuito. Ahora hay un voltaje máximo en la carga. Colocando cargas con diferentes impedancias al final de la línea de transmisión se producen diferentes patrones de onda estacionaria, con el voltaje en la carga variando entre cero y máximo. En la figura 4.28, observamos que Z_1 , Z_2 y Z_3 representan tres condiciones diferentes de impedancia de carga y el voltaje correspondiente. No es necesario medir estos voltajes terminales, porque conociendo la longitud de onda, es fácil determinar la posición de cualquiera de estas líneas en términos de longitud de onda, midiendo la distancia desde la carga al punto mínimo más cercano en el patrón de onda estacionaria.

Para la solución de situaciones como la anterior, es recomendable apoyarse en el uso de gráficas, como la carta de Smith (carta de impedancia) figura 4.31. Antes de tomar un ejemplo de aplicación con la carta de impedancias, hay que conocer el concepto de impedancia normalizada la cual está definida como la relación existente entre una impedancia cualquiera referida a la impedancia característica de la línea de transmisión. Ver figura 4.29 elementos de un sistema de transmisión acoplado.

PATRONES DE ONDA ESTACIONARIA

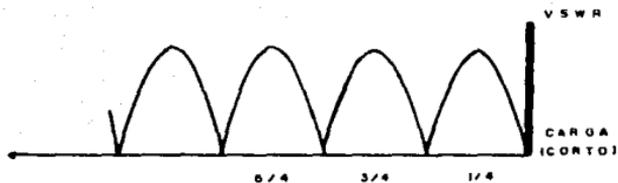


FIG. 4.26 (A) CORTO CIRCUITO.



FIG. 4.27 (B) CARGA ABIERTA.

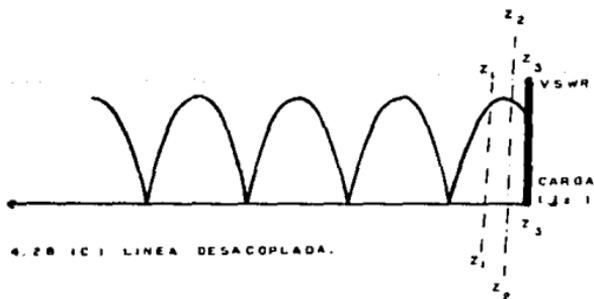


FIG. 4.28 (C) LINEA DESACOPLADA.

$$Z_n = Z_L / Z_o \quad (4.7)$$

Como ejemplo se considerará una línea de transmisión (L.T) cuya impedancia característica es :

$Z_o = 50$ ohms y está terminada en una carga.

$Z_L = 40 - j20$ ohms.

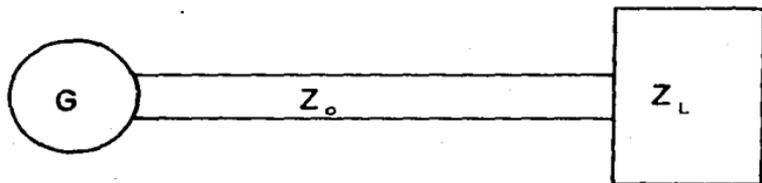


FIG. 4.29

Con los datos anteriores, se procederá a determinar el SWR, el coeficiente de reflexión, la distancia a la cual se encuentra el primer máximo de tensión y el acoplamiento de la L.T con la carga.

Todos los valores que maneja la carta de Smith, están normalizados, por lo que debemos normalizar a Z_L , dividiendola entre Z_0 , para obtener la impedancia normalizada Z_n . Tomando la ecuación 4.7, procederemos a sustituir.

$$Z_n = (40 - j20) / 50$$

$$Z_n = 0.8 - j0.4 \Omega$$

Localizamos a Z_n en la carta de Smith y posteriormente trazamos el círculo SWR de la siguiente forma: El centro del círculo se localiza en la parte central de la carta de Smith (1) y radio hasta el punto Z_n .

El valor del SWR es el círculo tangente en el eje real del lado de los máximos siendo para el caso en cuestión de 1.7

Para determinar en forma práctica la magnitud del coeficiente de reflexión (R) nos auxiliaremos de la ecuación 4.8

$$R = \frac{\text{RADIO DEL SWR}}{\text{RADIO DE LA CARTA DE SMITH}} \quad (4.8)$$

$$R = \frac{2.15}{8.78} = 0.2448$$

Cabe hacer notar que el coeficiente de reflexión se presenta entre Z_0 y Z_L , ver figura 4.30

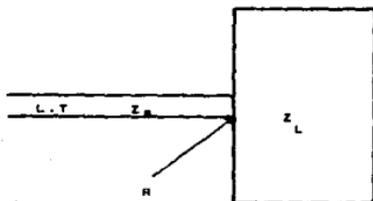


FIG. 4.30

Nuevamente nos apoyamos en la carta de Smith para determinar el ángulo del coeficiente de reflexión, por lo que se procederá a trazar una recta desde el centro, pasando por Z_n y prolongándose hasta cruzar la escala de "ANGULO DEL COEFICIENTE DE REFLEXION EN GRADOS". Para este caso el ángulo es de -104° . Entonces el valor completo es

$$R = |0.2448| \angle -104^\circ$$

COORDENADAS DE IMPEDANCIA O ADMITANCIA

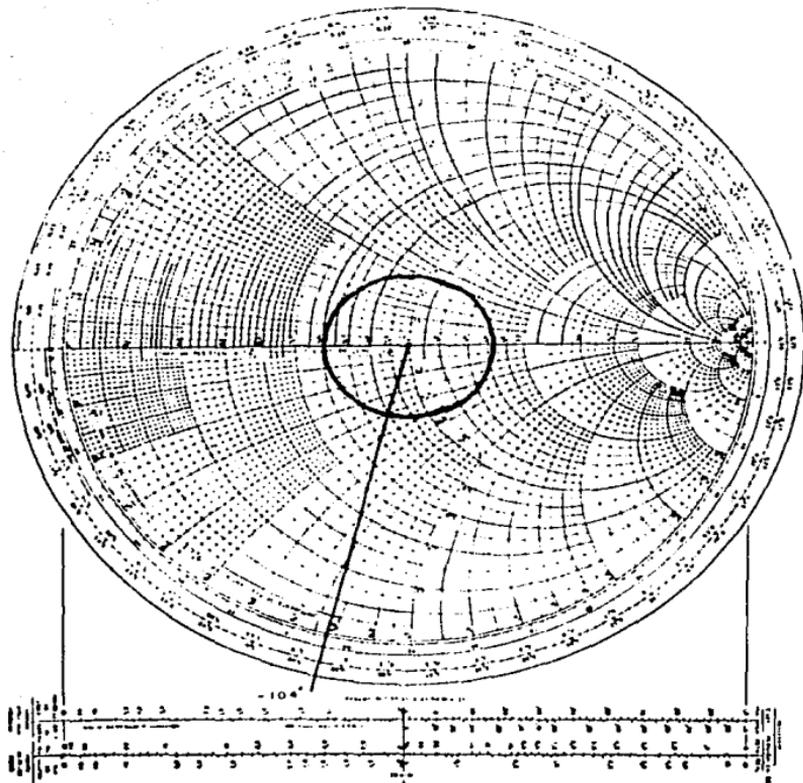


FIG 4 31 CARTA DE SMITH

Para un desarrollo más completo, el resultado anterior se comprobará analíticamente al emplear la ecuación 4.6

$$R = Z_L - Z_O / Z_L + Z_O = (40 - j20) - 50 / (40 - j20) + 50$$

$$= (-10 - 20j / 90 - 20j)(90 + 20j / 90 + 20j)$$

$$= (-900 - 200j - 1800j - 400j^2) / (8100 - 400j^2)$$

$$= (-900 - 2000j + 400) / (8100 + 400)$$

$$= (-500 - 2000j / 8500) = (-500/8500) - (2000j / 8500)$$

$$R = -0.05882 - j 0.23529 = x + yi . \text{ Lo cual queda en forma rectangular.}$$

Transformando a la forma polar

$$R = r (\cos \theta + i \operatorname{sen} \theta) = x + yi$$

$$\text{donde } r = \sqrt{(-0.05882)^2 + (-0.23529)^2}$$

$$r = 0.2425$$

Obtenido el ángulo θ

$$\cos \theta = x / r$$

$$\theta = \cos^{-1} (-0.05882 / 0.2425)$$

$$\theta = 104.035$$

Teniendo así que el R exacto y completo es

$$R = 0.2425 \quad | \quad 104.035^\circ$$

Con la figura 4.32 se puede observar gráficamente la posición del primer máximo. Dado que el resultado de la carta de Smith nos reporta valores normalizados, procederemos a desnormalizar.

$$R = 0.2424 \quad | \quad -104^\circ$$

$$180^\circ - 104^\circ = +76^\circ$$

$$76^\circ / 2 = 38^\circ$$

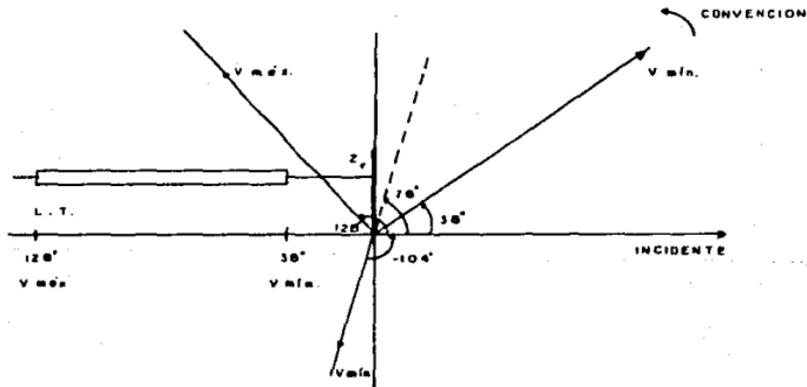


FIG. 4.32

Lo primero que encontramos es un mínimo. La dirección es hacia el generador debido a que estamos en la carga, por lo cual la tendencia será hacia los mínimos. Cabe recordar que cuando la parte resistiva tiende a valores pequeños, el voltaje tenderá a valores mínimos.

De tal forma que el máximo lo obtendremos al incrementar 90° (Desnormalizando)

$$38^\circ + 90^\circ = 128^\circ \quad (\text{1er MAXIMO})$$

Para tener el acoplamiento entre impedancias (Z'_0) se hará uso de la siguiente relación.

$$Z'_0 = \sqrt{Z_0 Z_r} \quad (4.9)$$

Donde $Z_r = Z_0 / \text{SWR}$

$$Z_r = 50 / 1.7 = 30 \Omega$$

$$Z_r = 30 \Omega \text{ (En el caso de R mín.)}$$

$$Z'_0 = \sqrt{50 (30)} = 38.729 \Omega$$

$$Z'_0 = 38.729 \approx 50 \Omega$$

Debido a que comercialmente no existe este tramo acoplador calculado, se comprará el más cercano, siendo entonces de 50Ω y se conecta el tramo de $\lambda/4$ (Dist. entre 38° y 128°). Ver figura 4.33

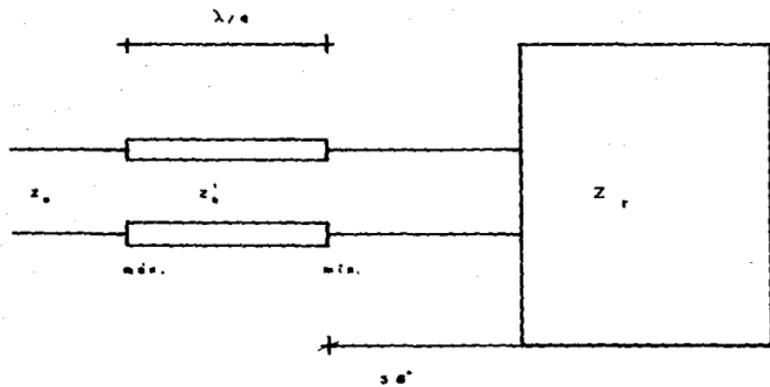


FIG. 9.33 LINEA ACOPLADA

MEDICION DE LA IMPEDANCIA POR MEDIO DE UN REFLECTOMETRO.

Una explicación general, para no entrar en detalle acerca de este sistema es que tanto la fase como la magnitud de una impedancia pueden determinarse por mediciones en un sistema de línea ranurada, sin embargo, para aquellos casos donde la fase no es necesaria, el método del reflectómetro es el más adecuado.

La función básica del reflectómetro consiste en tomar muestras de las magnitudes individuales de las señales incidente y reflejada en una línea de transmisión, la cual alimenta una carga cuya impedancia deseamos conocer.

El reflectómetro, que incluye un medidor de relación ahorra tiempo, ya que hace posible la presentación del coeficiente de reflexión sobre un rango de frecuencias amplio. El medidor de relación, automáticamente combina las señales incidente y reflejada, mostrando su relación directamente por ejemplo en un osciloscopio.

Actualmente existe otro método más directo de reflectómetro, el cual mantiene constante la potencia incidente nivelando y midiendo "pérdidas por retorno" de la carga en cuestión en lugar de la relación de las señales incidente y reflejada. Esta técnica elimina la necesidad del medidor de relación y la modulación de amplitud de la señal de RF por medio de la señal de 1 Khz. La pérdida de retorno obtenida se convierte fácilmente a ρ ó ROE, usando las ecuaciones 4.3 y 4.5, así como la relación 4.10.

$$\text{Pérdida por retorno (db)} = -20 \log \rho \quad (4.10)$$

En la tabla 4.2 se puede consultar la equivalencia entre pérdidas por retorno y VSWR.

RETURN LOSS VERSUS USWR

RETURN LOSS (dB)		VSWR		RETURN LOSS (dB)		VSWR		RETURN LOSS (dB)		VSWR		RETURN LOSS (dB)		VSWR	
48.084	1.01	13.842	1.51	9.485	2.01	7.327	2.51	5.988	3.01						
40.088	1.02	13.708	1.52	9.478	2.02	7.294	2.52	5.970	3.02						
36.807	1.03	13.577	1.53	9.372	2.03	7.262	2.53	5.954	3.03						
34.151	1.04	13.449	1.54	9.317	2.04	7.230	2.54	5.935	3.04						
32.256	1.05	13.324	1.55	9.262	2.05	7.198	2.55	5.914	3.05						
30.714	1.08	13.201	1.58	9.208	2.08	7.167	2.56	5.893	3.08						
29.417	1.07	13.081	1.57	9.155	2.07	7.135	2.57	5.872	3.07						
28.298	1.08	12.964	1.58	9.103	2.08	7.105	2.58	5.852	3.08						
27.318	1.09	12.849	1.59	9.051	2.09	7.074	2.59	5.832	3.09						
26.444	1.10	12.738	1.60	8.999	2.10	7.044	2.60	5.811	3.10						
25.668	1.11	12.625	1.61	8.948	2.11	7.014	2.61	5.791	3.11						
24.943	1.12	12.516	1.62	8.898	2.12	6.984	2.62	5.771	3.12						
24.268	1.13	12.412	1.63	8.849	2.13	6.954	2.63	5.751	3.13						
23.648	1.14	12.308	1.64	8.800	2.14	6.925	2.64	5.732	3.14						
23.127	1.15	12.207	1.65	8.752	2.15	6.896	2.65	5.712	3.15						
22.607	1.16	12.107	1.66	8.705	2.16	6.867	2.66	5.693	3.16						
22.120	1.17	12.009	1.67	8.657	2.17	6.839	2.67	5.674	3.17						
21.684	1.18	11.913	1.68	8.611	2.18	6.811	2.68	5.654	3.18						
21.234	1.19	11.818	1.69	8.565	2.19	6.783	2.69	5.635	3.19						
20.828	1.20	11.725	1.70	8.519	2.20	6.755	2.70	5.617	3.20						
20.443	1.21	11.634	1.71	8.474	2.21	6.728	2.71	5.598	3.21						
20.078	1.22	11.545	1.72	8.430	2.22	6.700	2.72	5.579	3.22						
19.732	1.23	11.457	1.73	8.386	2.23	6.673	2.73	5.561	3.23						
19.401	1.24	11.370	1.74	8.342	2.24	6.646	2.74	5.542	3.24						
19.085	1.25	11.285	1.75	8.299	2.25	6.620	2.75	5.524	3.25						
18.783	1.26	11.202	1.76	8.257	2.26	6.594	2.76	5.506	3.26						
18.493	1.27	11.120	1.77	8.215	2.27	6.567	2.77	5.488	3.27						
18.218	1.28	11.038	1.78	8.173	2.28	6.541	2.78	5.470	3.28						
17.949	1.29	10.960	1.79	8.136	2.29	6.516	2.79	5.452	3.29						
17.690	1.30	10.881	1.80	8.091	2.30	6.490	2.80	5.435	3.30						
17.445	1.31	10.804	1.81	8.051	2.31	6.465	2.81	5.417	3.31						
17.207	1.32	10.729	1.82	8.011	2.32	6.440	2.82	5.400	3.32						
16.977	1.33	10.654	1.83	7.972	2.33	6.415	2.83	5.383	3.33						
16.755	1.34	10.581	1.84	7.933	2.34	6.390	2.84	5.365	3.34						
16.540	1.35	10.509	1.85	7.894	2.35	6.366	2.85	5.348	3.35						
16.332	1.36	10.437	1.86	7.856	2.36	6.341	2.86	5.331	3.36						
16.131	1.37	10.367	1.87	7.818	2.37	6.317	2.87	5.315	3.37						
15.936	1.38	10.298	1.88	7.781	2.38	6.293	2.88	5.298	3.38						
15.747	1.38	10.230	1.89	7.744	2.39	6.270	2.89	5.281	3.39						
15.563	1.40	10.163	1.91	7.707	2.40	6.246	2.90	5.265	3.40						
15.385	1.41	10.097	1.91	7.671	2.41	6.223	2.91	5.248	3.41						
15.211	1.42	10.032	1.92	7.635	2.42	6.200	2.92	5.232	3.42						
15.043	1.43	9.968	1.93	7.599	2.43	6.177	2.93	5.216	3.43						
14.879	1.44	9.904	1.94	7.564	2.44	6.154	2.94	5.200	3.44						
14.719	1.45	9.842	1.95	7.529	2.45	6.131	2.95	5.184	3.45						
14.564	1.46	9.780	1.96	7.494	2.46	6.109	2.96	5.168	3.46						
14.412	1.47	9.720	1.97	7.460	2.47	6.086	2.97	5.152	3.47						
14.264	1.48	9.660	1.98	7.426	2.48	6.064	2.98	5.137	3.48						
14.120	1.49	9.601	1.99	7.393	2.49	6.042	2.99	5.121	3.49						
13.979	1.50	9.542	2.00	7.360	2.50	6.021	3.00	5.105	3.50						

TABLE 4.2

MEDICION DE POTENCIA.

La medición de potencia en microondas y por tanto en sistemas de RF, es más compleja que la medición en bajas frecuencias. Cualquier desacoplamiento apreciable de impedancias e inadecuadas inserciones, por ejemplo, causan ondas estacionarias y distorsionan los resultados. Todas las mediciones en microondas deben evitar estos errores para obtener resultados precisos.

En bajas frecuencias podemos medir corriente, voltaje, la diferencia de fase entre ambas (si es requerida) y calcular la potencia. Esto no es posible a nivel de RF. Cabe recordar que para transmitir al satélite Morelos, las bandas de frecuencia utilizadas son en banda C (6 a 4 Ghz) y Ku (14 - 11 Ghz).

Para ejecutar esta medición se puede emplear el analizador de espectros sin embargo el Wattmetro, o también llamado medidor de potencia, es el instrumento básico para medir potencia; estos a su vez necesitan de sensores de potencia, a base de los termocopios, diodos y termistores, entre otros. Los diferentes tipos de medidores de potencia se clasifican en cuatro grupos:

- 1) Bolómetros.- Estos son detectores térmicos particularmente sensibles, que permiten medir intensidades de radiación o ínfimas variaciones de la temperatura. El Bolómetro se funda en la propiedad que tienen los metales especialmente el platino, de variar su resistencia al cambiar su temperatura. Consta de una tira finísima de platino conectada con un puente de Wheatstone.
- 2) Calorímetro.- Miden la cantidad de calor generado para indicar potencia.
- 3) Wattmetros de absorción.- Utilizan un resistor de carga para acoplar la línea, detectando y midiendo parte de la potencia en forma proporcional.

4) **Wattímetros de lectura directa.**- Generalmente operan tomando parte de la potencia de la línea de transmisión, que va de la fuente a la carga, en un sistema operativo, y directamente indican la potencia total. En la mayoría de las cadenas ascendentes y descendentes existen puntos de monitoreo, en donde se pueden conectar los wattímetros y de esta forma conocer la potencia en la sección de interés.

En la medición de potencia de microondas se debe considerar lo siguiente:

Debe existir un transductor y un proceso para convertir la energía de microondas en alguna otra forma de energía que pueda ser desplegada.

Debido a que la potencia de microondas cubre un amplio rango en magnitud, se requiere algún medio de extender la utilidad del método tanto a altas como a bajas potencias. Por la carencia de instrumentos de medición, se utilizan en ocasiones wattímetros que trabajen por debajo de la potencia a medir, por lo que para proteger al instrumento se requiere utilizar atenuadores fijos o variables y entonces realizar la medición.

Por otro lado, debido a la gran cantidad de unidades involucradas con las mediciones de potencia y a la confusión que estas pudieran ocasionar, es conveniente resumir al respecto.

El decibel es comúnmente empleado en telecomunicaciones, de tal forma que es práctica común hacer mediciones con unidades logarítmicas, para expresar la relación que guarden entre sí dos cantidades eléctricas entre la entrada y la salida de un circuito o dispositivo.

Debido a que la potencia de una señal casi siempre sufre atenuación (que es un proceso de división) o amplificación (proceso de multiplicación); la expresión de potencia directamente en watts o miliwatts, requerirá el desarrollo de algunos cálculos. Por lo tanto, un método más conveniente para indicar una cantidad de potencia, es expresándola como tantos dB arriba o abajo de la potencia de referencia de un miliwatt, ya que la suma

o resta de dB equivale a la multiplicación y división de potencia respectivamente. Ahora bien, cuando hablamos de dB arriba o abajo de un miliwatt, la abreviatura usada es dBm que no deja lugar a duda de que la referencia es precisamente un miliwatt.

Por definición, el dB es 10 veces el logaritmo (de base 10) de la relación de dos potencias, o sea,

$$x\text{dB} = 10 \log_{10} (W_1 / W_2)$$

cuyo valor resultante en dB expresa la diferencia de potencia entre los dos niveles mencionados.

Si se usa un nivel de referencia para uno de los valores que forman la relación, el resultado expresa entonces el valor de potencia de la señal involucrada. Para el caso particular de $W_2 = 1 \text{ mW}$ (0.001 ó 10^{-3} watts) tenemos:

$$\text{dBm} = 10 \log_{10} (W_1 / 1\text{mW})$$

Por lo que $0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$

Consecuentemente

$$10 \text{ dBm} = 0.01 \text{ watts}$$

$$30 \text{ dBm} = 1 \text{ watt}$$

$$40 \text{ dBm} = 10 \text{ watts}$$

y así sucesivamente, de acuerdo a la relación anterior.

Las siguientes relaciones, nos permitirán efectuar las transformaciones en forma rápida para obtener: dBm, dBW y dBKW.

dBW	=	N	dBm	-	30
dBm	=	N	dBW	+	30
dBKW	=	N	dBm	-	60
dBm	=	N	dBKW	+	60

Como herramienta auxiliar, también podemos contar con la tabla 4.3, la cual presenta las equivalencias entre dBm, dBW y volts.

Además del dBm, hay otras relaciones que se emplean con frecuencia en otras ramas de las telecomunicaciones. Entre ellas se encuentran: dBf, dBm0, dBu, dBA, dBric, etc.

MEDICION DE FRECUENCIA.

El propósito de esta medición, es investigar si existe alguna posible variación o deslizamiento en frecuencia de la portadora, que en este caso se haría para la señal de comando y de telemetría, en la etapa de radiofrecuencia, es decir, se tendrá que evaluar en los convertidores de subida y bajada, en los amplificadores de potencia (TWT y Klystron), en las guías de onda, así como en los amplificadores de bajo nivel de ruido, principalmente a través de puntos de monitoreo. La medición de la frecuencia, la podemos efectuar utilizando un frecuencímetro o el analizador de espectros.

Al emplear el frecuencímetro en esta medición es importante tomar en cuenta los siguientes parámetros como lo son: Rango de operación; Sensibilidad; Nivel máximo de entrada y velocidad de muestreo. Esto es con el fin de no dañar al instrumento de medición. Asimismo si se empleara un analizador de espectros no hay que olvidar el ajuste adecuado de la resolución (span) frecuencia central, referencia de la amplitud y velocidad de barrido entre otros factores.

DECIBELS/VOLTS/WATTS CONVERSION TABLE

dBm	V	P	dBm	V	P	dBm	mV	P	dBm	μ V	P
+33	100.0	200 W	0	225	1.0 mW	-48	0.80		-87	3.2	
+30	70.7	100 W	-1	200	80 mW	-50	0.71	0.1 μ W	-98	2.9	
+49	84.0	80 W	-2	180	64 mW	-51	0.54		-99	2.51	
+48	68.0	64 W	-3	160	50 mW	-52	0.57		-100	2.25	.1 μ W
+47	50.0	50 W	-4	141	40 mW	-53	0.50		-101	2.0	
+46	44.5	40 W	-5	125	32 mW	-54	0.45		-102	1.8	
+45	40.0	32 W	-6	115	25 mW	-55	0.40		-103	1.8	
+44	31.6	25 W	-7	100	20 mW	-56	0.351		-104	1.61	
+43	32.0	20 W	-8	90	16 mW	-57	0.32		-105	1.27	
+42	28.0	16 W	-9	80	12.5 mW	-58	0.288		-108	1.18	
+41	26.2	12.5 W	-10	0.71	10 mW	-59	0.251				
+40	22.5	10 W	-11	0.64		-60	0.225	0.01 μ W			
+39	20.0	8 W	-12	0.58		-61	0.200		dBm	mV	
+38	18.0	8 W	-13	0.50		-62	0.180		-107	1000	
+37	18.0	5 W	-14	0.45		-63	0.160		-108	600	
+36	16.1	4 W	-15	0.40		-64	0.141		-108	800	
+35	12.5	3.2 W	-16	0.355					-110	710	.01 μ W
+34	11.5	2.5 W							-111	640	
+33	10.0	2 W	dBm	mV					-112	560	
+32	9.0	1.8 W	-17	31.5		-65	128		-113	500	
+31	8.0	1.25 W	-18	28.5		-66	115		-114	450	
+30	7.10	1.0 W	-19	25.1		-67	100		-116	400	
+29	6.40	800 mW	-20	22.5	.01 mW	-68	90		-116	368	
+28	5.80	640 mW	-21	20.0		-69	80		-117	325	
+27	5.00	500 mW	-22	17.9		-70	71	.1 mW	-118	285	
+26	4.45	400 mW	-23	15.9		-71	65		-118	251	
+25	4.00	320 mW	-24	14.1		-72	58		-120	228	.001 μ W
+24	3.56	250 mW	-25	12.8		-73	50		-121	200	
+23	3.20	200 mW	-26	11.5		-74	45		-122	180	
+22	2.80	160 mW	-27	10.0		-75	40		-123	160	
+21	2.52	125 mW	-28	8.9		-76	35		-124	141	
+20	2.25	100 mW	-29	8.0		-77	32		-125	128	
+19	2.00	80 mW	-30	7.1	.001 mW	-78	28		-126	117	
+18	1.80	64 mW	-31	6.25		-79	25		-127	100	
+17	1.60	50 mW	-32	5.8		-80	22.5	.01 mW	-128	90	
+16	1.41	40 mW	-33	5.0		-81	20.0		-128	80	.1 μ W
+15	1.25	32 mW	-34	4.5		-82	18.0		-130	71	
+14	1.15	25 mW	-35	4.0		-83	16.0		-131	61	
+13	1.00	20 mW	-36	3.5		-84	12.8		-132	58	
+12	.90	16 mW	-37	3.2		-85	11.5		-133	50	
+11	.80	12.5 mW	-38	2.85		-86	11.1		-134	45	
+10	.71	10 mW	-39	2.5		-87	10.0		-136	40	
+9	.64	8 mW	-40	2.25	1 μ W	-88	9.0		-136	35	
+8	.58	6.4 mW	-41	2.0		-89	8.0		-138	28	
+7	.500	5 mW	-42	1.8		-90	7.1	.001 mW	-138	25	
+6	.445	4 mW	-43	1.6		-92	5.75		-140	23	.01 μ W
+5	.400	3.2 mW	-44	1.4		-93	5.0				
+4	.368	2.5 mW	-45	1.25		-94	4.5				
+3	.320	2.0 mW	-46	1.18		-95	4.0				
+2	.280	1.6 mW	-47	1.00		-96	4.0				
+1	.252	1.25 mW	-48	0.90		-98	3.51				

TABLE 4.3

El uso de guías de onda en la trayectoria ascendente de las señales dentro de la etapa de radiofrecuencia trae como consecuencia la aplicación de pruebas y mediciones para determinar: La frecuencia de operación, la longitud de onda, atenuación y frecuencia de corte que a continuación se mencionan, con el fin de evaluar el estado de trabajo de las guías de onda que en nuestro caso corresponden a la banda C de comunicaciones, pero que dichas mediciones se pueden aplicar a guías de onda que operen en otras bandas de frecuencia.

En este caso la instrumentación a utilizar puede ser la misma empleada para determinar el SWR; además nos apoyaremos en expresiones matemáticas para completar los resultados.

MEDICION DE LA LONGITUD DE ONDA Y FRECUENCIA.

Para determinar la longitud de onda dentro de la guía, se procederá a determinar dos mínimos sucesivos; esto lo obtendremos si al girar el frecuencímetro de cavidad se observa una deflexión en la aguja del medidor de SWR. El frecuencímetro se girará hasta obtener la máxima deflexión lo que en otras palabras implica tener máxima atenuación.

La longitud de onda dentro de la guía queda determinada de la siguiente forma,

$$\lambda_g = (\text{separación entre mínimos}) \times 2$$

La frecuencia de operación en la guía es

$$f = c \sqrt{(1/\lambda_g)^2 + (1/2a)^2} \quad (4.11)$$

Donde: λ_g = Es la longitud de onda en la guía.

a = Ancho de la guía de onda.

c = Velocidad de la luz (3×10^8 m/s).

MEDICION DE LA ATENUACION.

Una de las ventajas al efectuar esta medición es el conocer con que valor estamos llegando a un extremo de la guía, con lo cual estamos en condiciones de calibrar la cadena ascendente de la estación terrena (E/T) debido a que se determinan las pérdidas.

En un momento dado si no se cuenta con un medidor de potencia o un analizador de espectros se podría utilizar un osciloscopio y medir la amplitud de la señal en el extremo de la guía (V_2) así como verificar a la entrada de la misma (V_1). El osciloscopio estará conectado a un detector y este último acoplado a las guías de onda en donde se efectuó la medición. Si la señal a medir excede la permitida por el osciloscopio en su entrada, se necesitará emplear un atenuador para protección del equipo.

Con los valores de las amplitudes medidas, se procede a calcular la atenuación que se tiene a lo largo de la guía (α/m), partiendo de la ecuación 4.12

$$\alpha_{dB} = 20 \log (V_1 / V_2) \quad (4.12)$$

$$\alpha_{(dB / m)} = \alpha_{dB} / L_t$$

Donde:

$\alpha_{(dB / m)}$ - Es la atenuación a lo largo de la guía.

L_t - Es la longitud total de la guía.

MEDICION DE LA FRECUENCIA DE CORTE.

La frecuencia de las ondas electromagnéticas que viajan por una guía pueden variar continuamente, sin embargo en una guía de onda de dimensiones dadas, existe para cada modo

de transmisión, esto es, para cada patrón de \vec{E} y \vec{H} , una frecuencia "fo" llamada frecuencia de corte. Una guía determinada no transmitirá ondas en un modo dado si su frecuencia es inferior al valor de la frecuencia de corte para ese modo en esa guía.

La frecuencia de corte (fo) está determinada en forma analítica con la ecuación 4.13

$$f_0 = C / 2a \quad (4.13)$$

Donde:

- C - Velocidad de la luz.
- a - Ancho de la guía de onda.

En forma experimental se encontrará f_0 si se conecta un generador de microondas con un aislador de ferrita y un frecuencímetro a la guía de onda; mediante un osciloscopio se monitorea la amplitud de la señal proveniente del generador. Una vez teniendo este sistema implementado, se procederá a variar la frecuencia del generador hasta que la señal observada en el osciloscopio desaparezca. Esta frecuencia será la frecuencia de corte f_0 .

CALCULO DE COORDENADAS PARA LOCALIZAR UN SATELITE GEOESTACIONARIO.

Debido a que los satélites Morelos están siendo telemetreados a través de las antenas parabólicas de las E / Ts (TTAC y TC), se requiere de un procedimiento para la obtención de las coordenadas y localizar los satélites en cuestión. Cabe hacer notar que los satélites domésticos son geosíncronos y están orbitando sobre el ecuador, lo cual implica que tengan una latitud de 0° . El personal de mantenimiento de RF debe estar capacitado para efectuar el movimiento de la (s) antena (as) y orientarla (as) al satélite en consideración.

Para recibir y transmitir señales a los diferentes satélites, se requiere ajustar en la antena los ángulos de elevación y acimut, así como el polarizador de la misma.

Antes de efectuar el cálculo de coordenadas para los dos satélites mexicanos, es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

Se considerará que la latitud es positiva hacia el norte del ecuador y negativa para el hemisferio sur. La longitud es positiva al oeste del primer meridiano y negativa para el este. Existe además un fenómeno natural que es la declinación magnética, consistiendo esto en la desviación en grados que existe entre el norte geográfico y el norte magnético. La desviación es de aproximadamente 7° entre el norte que nos da una brújula y el norte verdadero.

Por otro lado los datos necesarios para el cálculo de coordenadas son:

- Posición orbital del satélite geoestacionario ϕ_s

- Posición de la E/T

ϕ_E - Longitud W, E

γ - Latitud N, S

- Altura sobre el ecuador, $h = 35,786$ Km (valor medio).

- Radio terrestre, $R = 6378$ Km (valor medio).

Los parámetros geométricos y fórmulas a evaluar son las siguientes:

$$\Delta \phi = \phi_E - \phi_s \quad (4.14)$$

$$\cos \rho = \cos \gamma \cos \Delta \phi \quad (4.15)$$

$$d = [R^2 + (R + H)^2 - 2R(R + H) \cos \beta]^{1/2} \quad (4.16)$$

$$\cos \Theta = (R + H / d) \sin \beta \quad (4.17)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \Delta \phi / \sin \gamma \quad (4.18)$$

Como ejemplo se obtendrán los ángulos de elevación y acimut de una E/T que está ubicada en el CCSM y se orientará al satélite Morelos I

Posición del satélite: $\phi_s = 113.5^\circ$ W, Morelos I

Posición de la E/T : $\phi_E = 99.064^\circ$ longitud W

$$\gamma = 19.368^\circ \text{ latitud N}$$

$$R = 6378 \text{ Km}; \quad H = 35786 \text{ Km.}$$

Con la ecuación 4.14 obtendremos primeramente la diferencia de longitudes entre la E/T y el satélite.

$$\Delta \phi = 99.064^\circ - 113.5^\circ$$

$$\Delta \phi = -14.436^\circ$$

Sustituyendo en la ecuación 4.15

$$\cos \beta = \cos (19.368) \cos (-14.436)$$

$$\cos \beta = 0.91362$$

$$\beta = \arccos (0.91362)$$

$$\beta = 23.989^\circ$$

Aplicando la ecuación 4.16 para obtener la distancia entre la E/T y el satélite.

$$d = [(6378)^2 + (6378 + 35786)^2 - 2 (6378) (6378 + 35786) (0.91362)]^{1/2}$$

$$d = 36429.339 \text{ Km.}$$

Aplicando y sustituyendo en la ecuación 4.17 para obtener el ángulo de elevación (Θ) requerido en nuestra antena transreceptora.

$$\cos \Theta = \left(\frac{6378 + 35786}{36429.339} \right) \sin (23.989)$$

$$\cos \Theta = 0.470561$$

Donde:

$$\underline{\underline{\Theta = 61.929^\circ}} = \star \text{ ELEVACION}$$

Obteniendo el ángulo acimutal mediante la ecuación 4.18

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} (-14.436) / \sin (19.368)$$

$$\operatorname{tg} \delta = -0.776235$$

$$\delta = -37.8198^\circ$$

El acimut real requerido, se adquiere tomando en cuenta la siguiente consideración.

$$\star \Lambda_z = 180^\circ - \delta = 180^\circ - (-37.8198^\circ)$$

$$\underline{\underline{\star \Lambda_z = 217.819^\circ}}$$

Las coordenadas para orientar la antena de la E/T al satélite Morelos II, el cual esta en una posición orbital de 116.8° longitud oeste (W) son:

$$\text{Acimut} = 223.9622^\circ$$

$$\text{Elevación} = 59.5810^\circ$$

El ajuste del polarizador (alimentador) se efectuará posterior al de acimut y elevación. El ajuste consiste en rotar el polarizador, hasta que el vector de intensidad de campo eléctrico (\vec{E}) proveniente del satélite, sea recibido con la mayor amplitud posible. Cabe hacer notar que la polarización con la cual trabajan los satélites Morelos es del tipo lineal (vertical y horizontal). El tipo de polarizador empleado en las E/T para control del satélite es también del tipo lineal de cuatro puertos y con alto aislamiento de polarización ortogonal.

Debido a que dentro de los sistemas de radio-frecuencia la antena es un elemento importante, es necesario conocer los conceptos tales como: Ganancia, Directividad, Patrón de radiación, Lóbulos laterales, Figura de mérito y Potencia de radiación (PIRE), entre otros.

GANANCIA Y AREA EFECTIVA.

La ganancia de una antena, es la habilidad de conocer la potencia radiada en una dirección y se define como la razón de la potencia radiada por una antena isotrópica a la potencia radiada por la antena en consideración, cuando ambas antenas producen la misma intensidad de campo en una dirección dada. Debido a que la potencia radiada por una antena o la potencia recibida por una antena receptora depende del área de las mismas, la ganancia también dependerá del área efectiva.

El área efectiva A_{ef} de una antena, se define como el cuadrado de la longitud de onda multiplicada por la ganancia G en cierta dirección, dividida entre 4π , o sea:

$$A_{ef} = \lambda^2 G / 4\pi \quad (4.19)$$

La ganancia G de una antena que tiene un área de apertura (A) es expresada mediante la siguiente ecuación:

$$G = (4 \pi / \lambda^2) A \eta$$

Si la apertura es un disco de diámetro D , entonces la ecuación anterior puede reescribirse en términos de dB_i

$$G \text{ dB}_i = 10 \log. 0.54 (\pi D / \lambda)^2 \quad (4.20)$$

Donde:

D - Es el diámetro de la antena (m).

λ - Es la longitud de onda a la frecuencia de operación (m).

0.54 - Factor de eficiencia.

DIRECTIVIDAD.

El grado en que el campo electromagnético es concentrado en una dirección, es generalmente llamado directividad de una antena. Este parámetro es de gran utilidad, ya que nos permitirá evaluar la forma en que va a radiar la antena y por lo tanto determinar si cumple con las normas del CCIR.

La figura 4.34 muestra las características de un patrón de radiación, conteniendo el haz principal (lóbulo principal), lóbulos laterales y lóbulos posteriores.

El patrón de radiación se obtiene al rotar la antena en acimut ($\pm 180^\circ$), con lo que obtendremos el patrón del plano magnético H y cuando movemos la antena en elevación ($\pm 90^\circ$) se generará el patrón del plano eléctrico E .

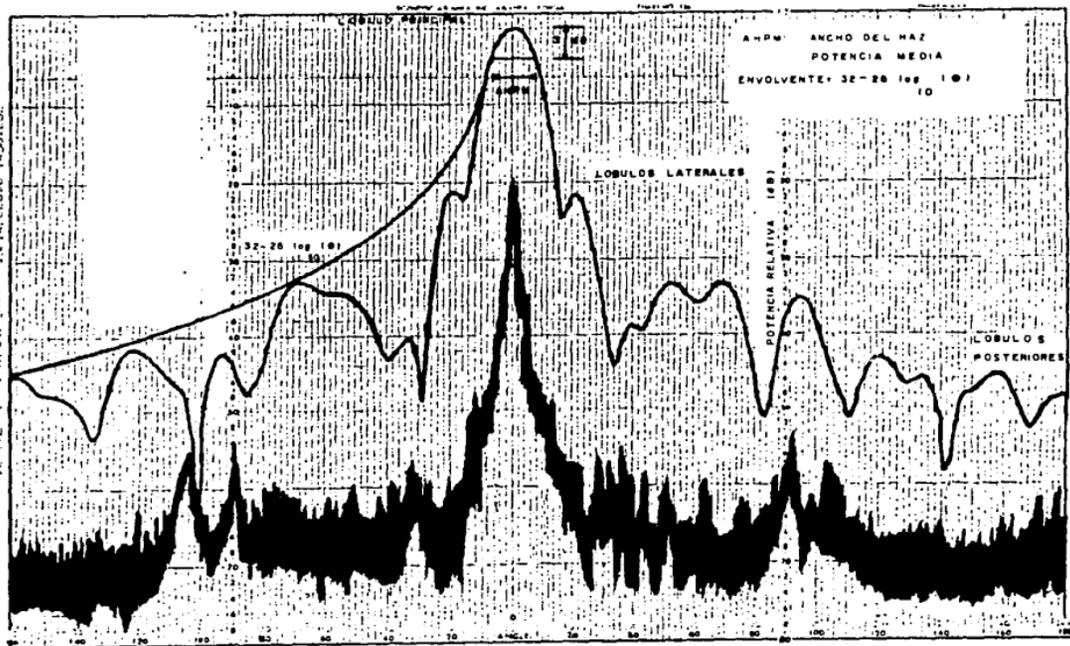


FIG. 4.34 PATRON DE RADIACION DE UNA ANTENA PARABOLICA (TR. VIA SATELITE).

El ancho del haz de la potencia media (AHPM), está determinado 3 dB abajo del pico máximo del haz principal.

Los lóbulos de menor nivel generados por la antena que aparecen al lado del lóbulo principal, son llamados lóbulos laterales y los lóbulos laterales que aparecen a 180° del haz principal, son conocidos como lóbulos posteriores. Cabe señalar que los lóbulos laterales deben ser menores a la envolvente dada por la expresión 4.21, para aquellas antenas que operan en el rango de 2 a 10 Ghz. Esta norma es en base a la recomendación 580 del CCIR.

$$G = 32 - 25 \log_{10} \Theta \quad (\text{dB}_i) \quad 1^\circ \leq \Theta \leq 25^\circ \quad (4.21)$$

Donde:

- G - Es la ganancia de la envolvente del lóbulo lateral relativo a una antena isotrópica en la dirección de la órbita geostacionaria.
- Θ - Es el ángulo en grados entre el eje del haz principal y la dirección considerada.

Si las antenas cumplen con la norma anterior se evitarán las interferencias tanto a otros satélites de comunicaciones, como a sistemas de telecomunicaciones terrestres, que trabajen en las mismas bandas de frecuencia.

Generalmente, el patrón de radiación es medida mediante la recepción de una portadora radiada por un transmisor instalado en el campo lejano, es decir a una distancia (d) mayor que la expresión 4.22

$$d = 2 D^2 / \lambda \quad (4.22)$$

Donde:

D - Es el diámetro de la antena (m).

λ - Longitud de onda de la frecuencia de operación (m).

Sin embargo es recomendable disponer de alguna portadora proveniente del satélite, para la obtención del patrón de radiación de la antena de la E/T, lo cual puede ser el método más real desde el punto de vista de interferencias encontradas por otros sistemas de satélites.

FIGURA DE MERITO (G/T).

Por otro lado, la señal recibida es muy débil, tanto en el satélite como en la E/T, por lo que es importante que la antena y la parte electrónica, introduzcan tan poco ruido como sea posible.

La eficiencia de tal combinación, usualmente se cuantifica como la relación de la ganancia a la temperatura de ruido y se llama "figura de mérito", la cual se expresa mediante G/T.

$$G/T \geq 31.7 + 20 \log_{10} (f/4) \quad (\text{dB} / ^\circ\text{K}) \quad (4.23)$$

Donde:

f - Es la frecuencia de recepción de la antena (Ghz).

G - Es la ganancia de la antena medida a la entrada del LNA (dB) relativos a un isotrópico.

T - Temperatura de ruido recibida en el sistema y que está referida a la entrada del LNA (dB) relativos a 1° Kelvin.

En otras palabras, para tener una antena de alta calidad, se debe tener la condición de alta ganancia y una baja temperatura de ruido.

POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EFECTIVA.

La potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE), es la potencia radiada entregada por el amplificador de alta potencia y multiplicada por la ganancia de la antena. La PIRE la podemos calcular con la siguiente ecuación.

$$PIRE = P_{Tx} \cdot G_{Ant.}(lx)$$

expresada en dB, tenemos

$$(PIRE)_{dBW} = (G)_{dBi} + (P_T)_{dBW} \quad (4.24)$$

Por norma del CCIR, la PIRE en dirección del satélite podrá, ser aceptable en ± 0.5 dB del valor nominal. La tolerancia incluye todos los factores que causan variaciones, tales como el nivel de potencia de RF de transmisión, inestabilidad de ganancia de la antena a la transmisión y error de apuntamiento de la antena con haz directivo.

En condiciones climatológicas adversas del lugar donde se efectue la medición de la PIRE, ésta puede ser tolerada hasta 2 dB por debajo del valor nominal.

Resumiendo, podemos mencionar que la mayoría de las antenas de las E/Ts, incluyendo TTAC y TC, deben tener las siguientes características que abajo se señalan, con el objeto de lograr un eficiente control de los satélites de comunicaciones, así como el de mejorar la calidad en las transmisiones y recepciones de los diferentes servicios que se lleven a cabo mediante sistemas satelitales.

- **Ganancia elevada en la dirección de las señales deseadas.**
- **Pequeña ganancia en la dirección de las señales interferentes.**
- **Gran eficacia.**
- **Baja temperatura de ruido equivalente del conjunto del equipo receptor.**

ESTUDIO ECONOMICO.

A continuación se presenta un estudio económico, el cual nos permitirá estimar el monto de la inversión asociada a obtener los recursos materiales para posteriormente administrar conforme a las partidas presupuestales que maneja la Dirección General de Telecomunicaciones y así efectuar la correspondiente adquisición de la instrumentación electrónica propuesta, así como las herramientas y accesorios diversos que se detallan en las relaciones anexas del presente estudio.

Cabe hacer notar que independientemente de tomar en cuenta las consideraciones teóricas y prácticas expuestas en los capítulos anteriores, así como los aspectos organizativos, es necesario como parte fundamental para llevar a cabo el programa de mantenimiento establecido, efectuar una inversión económica referente a la compra de insumos necesarios, ya que de lo contrario el proyecto resultará inoperante.

El estudio económico tiene por ventaja el permitirnos apreciar de manera detallada los siguientes factores:

- El tipo de equipo de medición a adquirir.
- Las clases de herramientas y accesorios necesarios.
- Las marcas y modelos.
- Características de herramientas.
- El costo por unidad.
- El costo global.

A continuación se presentan cuadros en los cuales se observan los equipos, accesorios y herramientas, así como la marca, modelo y costo. Conviene señalar que los costos están referidos al día 14 de septiembre de 1989 y la paridad del peso mexicano frente al dólar americano es de \$ 2586.00 M.N. por 1 Dólar, en esta fecha.

Los precios enlistados para los equipos de medición y accesorios son los de exportación por parte de la compañía proveedora que como ejemplo se tomó a Hewlett Packard (H.P). Al tener el costo total se aplicará la paridad del peso mexicano dada anteriormente para deducir la correspondiente equivalencia en moneda nacional.

- INSTRUMENTACION.

EQUIPO	MARCA	MODELO	COSTO
Analizador de espectros	H.P	8562A	40,160.00
Osciloscopio	"	54201A	9,120.00
Frecuencímetro de microondas	"	5342A	7,860.00
Medidor de potencia	"	436A	3,320.00
Sensor de potencia	"	8481B	1,635.00
Sensor de potencia	"	8481A	748.00
Sensor de potencia	"	8481H	918.00
Multímetro digital	"	3466A	1,400.00
Medidor SWR	"	415E	2,635.00
Graficador	"	7090A	5,340.00
Generador de microondas	"	8673E	41,970.00
Generador de barrido	"	8350B	5,485.00
RF plug - in	"	8359B	26,930.00
Generador de funciones	"	3325A	5,255.00
Frecuencímetro de cavidad	"	537A	1,485.00
Fuente de alimentación	"	6294A	925.00

SUBTOTAL INSTRUMENTACION \$ 155,186.00 Dls.

- ACCESORIOS.

DESCRIPCION	MARCA	MODELO	COSTO
Atenuador variable	H.P.	8496B	1,053.00
Divisor de potencia	"	1163A	515.00
Detector de cristal	"	8473H	368.00
Adaptador de gufa de onda a cable coaxial	"	218A	860.00
Carga terminal fija para gufa de onda	"	910B	465.00
Gufa de onda de impedancia variable	"	914B	650.00
Gufa de onda ranurada	"	810B	725.00
Aislador de ferrita	"	480A	534.00
Cable coaxial 50 Ω BNC	"	8120-1838	30.00
Cable coaxial 50 Ω plugs de doble banana	"	11001-60001	40.00
Cable coaxial 50 Ω N(RG-214/U)	"	11500B	145.00
Cable coaxial BNC(RG-223/U)	"	10501A	35.00
Cable para prueba clips	"	11002A	30.00
Cable coaxial con conectores N(m) - N(f)	"	11501A	145.00
Adaptador SMA(f) - SMA(f)	"	1250-1158	25.00
SMA(m) - SMA(m)	"	1250-1150	30.00
N(f) - BNC(m)	"	1250-0077	20.00
N(m) - BNC(m)	"	1250-0082	20.00
N(m) - SMA(f)	"	1250-1250	50.00
N(m) - SMA(m)	"	1250-1636	50.00
N(m) - N(m)	"	1250-0778	15.00
N(f) - N(f)	"	1250-0777	20.00
N(m) - N(f)	"	1250-0579	40.00

SUBTOTAL ACCESORIOS

\$ 5,865.00 Dls.

- HERRAMIENTAS.

LLAVES ESPAÑOLAS.	MODELO	MARCA	COSTO
1/4" - 3/16"	1208	PROTO	8,600.00
3/8" - 7/16"	1214	"	10,000.00
1/2" - 9/16"	1218	"	11,400.00
5/8" - 11/16"	1222	"	18,500.00
3/4" - 13/16"	1226	"	19,600.00
7/8" - 5/16"	1228	"	21,800.00
15/16" - 1"	1232	"	25,300.00
1 1/4" - 1 5/16"	1240	"	45,200.00
1 1/2" - 1 5/8"	1248	"	75,200.00

DADOS (DE 1/2)

7/16"	5414H	"	8,600.00
1/2"	5416H	"	8,600.00
9/16"	5418H	"	8,600.00
5/8"	5420	"	11,400.00
11/16"	5422	"	12,700.00
3/4"	5424	"	12,700.00
13/16"	5426	"	14,000.00
7/8"	5428	"	15,200.00
15/16"	5430	"	16,200.00
1"	5432	"	17,700.00
1 1/16"	5434	"	20,000.00
1 1/8"	5436	"	21,400.00

DESCRIPCION	MODELO	MARCA	COSTO
Llave ajustable (perico) 12"	712	PROTO	49,800.00
Pinzas de mecánico 6 1/2"	276	"	19,600.00
Pinzas de corte 4 11/16"	204G	"	21,100.00
Pinzas de electricista 6 5/16"	266G	"	26,600.00
Pinzas de punta 5 9/16"	229-01G	"	19,400.00
Pinzas para cortar alambre 6 1/16"	297	"	34,900.00
Pinzas de presión 10"	293R	"	28,000.00
Navaja 4"	689	"	9,700.00
Martaca P/ 1/2"	5467	"	39,500.00
Matraca P/ 1/2"	5498	"	55,900.00

DESARMADOR (LONGITUD)

(punta plana)

3/16"	4 3/8"	9801	"	6,100.00
1/4"	6 1/2"	9803	"	7,100.00
5/16"	9 1/2"	9805	"	9,200.00
3/8"	13 1/8"	9808	"	11,800.00

DESARMADOR

(de cruz)

1	6 3/8"	9782	"	6,100.00
2	9"	9784	"	6,300.00

LLAVES ALLEN	LONGITUD	MODELO	MARCA	COSTO
1/16"	1 3/4"	(set # 4971)	PROTO	500.00
5/64"	1 15/16"	"	"	500.00
3/32"	2 1/16"	"	"	500.00
1/8"	2 3/8"	"	"	600.00
5/32"	2 5/8"	"	"	800.00
3/16"	2 7/8"	"	"	990.00
7/32"	3 1/4"	"	"	1,200.00
1/4"	3 7/16"	"	"	1,200.00
5/16"	4"	"	"	1,900.00
3/8"	4 7/16"	"	"	2,900.00
Martillo de bola 13"	12 oz.	1312D	"	16,500.00
Flexómetro	3m/119"	1575LME	"	28,000.00
Cautín 100-150 W	—	C224	WELLER	65,800.00
Succionador de soldadura.	—	RA21	ADIR	18,600.00
Pasta para soldar 60 grs.	—	—	EAGLE	2,500.00
Soldadura 10 m. (estaño)	—	—	"	8,200.00
SUBTOTAL HERRAMIENTAS				\$ 904,580.00

EQUIPO DE MEDICION	\$ 401'310,996.00	M.N.
ACCESORIOS	\$ 15'166,890.00	M.N.
HERRAMIENTA	\$ 904,580.00	M.N.

Como podemos observar, el monto de la inversión total en moneda nacional a efectuar, para equipar el laboratorio y proporcionar los mantenimientos conforme al proyecto, asciende a:

GRAN TOTAL	<u>\$ 417'382,466.00</u>	M.N.
------------	--------------------------	------

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Considerando los temas tratados en los capítulos anteriores, se concluye lo siguiente:

- a) Con el presente proyecto de mantenimiento se asegura la disponibilidad operativa máxima de los sistemas de radiofrecuencia que operan en el Centro de Control del Sistema de Satélites Morelos, para que éste a su vez desarrolle plenamente sus funciones y pueda brindar un servicio de telecomunicaciones eficiente a los usuarios de los satélites nacionales.
- b) Para que el proyecto planeado se lleve a cabo, es necesario programar las actividades del mantenimiento de tal forma que no interfieran con las operaciones a efectuarse por parte de otras Areas que integran el Centro de Control.
- c) Se concluye también, que el monto de la inversión obtenida en base al estudio económico es una cantidad relativamente pequeña para garantizar la operación del Sistema de Satélites "Morelos". El valor comercial del equipo, materiales y mano de obra calificada, es mínimo comparado con el valor agregado del servicio que se presta, ya que esto garantiza a los usuarios del satélite una continuidad, confiabilidad y calidad del servicio prestado.
- d) Una recomendación importante, es tomar en cuenta el tipo de vida útil de los equipos, así como su amortización económica para plantear la renovación o compra de nuevos equipos, con el fin de garantizar la continuidad del mantenimiento y la operación del sistema. Cabe recordar que la vida útil esta en función de los planteamientos hechos en el capítulo 4.3 "Elementos de la Teoría de Fiabilidad", ya que además de los costos de servicio y mantenimiento a efectuar, es necesario considerar las diferentes etapas de vida por las cuales atraviesan los equipos cuando estan en operación.

- e) Un aspecto colateral nacido del proyecto desarrollado, es la propuesta de elaborar un programa de mantenimiento predictivo, ya que nos reportará mayores economías, y continuidad del servicios. Esto se logrará a través de un control y supervisión estricta de actividades, así como el considerar la información contenida en el historial de fallas de los equipos.

BIBLIOGRAFIA

- Telecomunicaciones vía satélite.
(teoría y aplicaciones)
División de educación continua
Facultad de Ingeniería U.N.A.M
México, D.F. 1984
- Satellite communications.
Stan Prentiss.
Tab books inc.
United States of America, 1983.
- Satellite communications technology.
K. Miya.
Kdd Engineering & Consulting Inc.
Tokyo, Japan, 1981.
- Digital communications microwave application.
Kamilo Feher
Prentice - Hall Inc.
United States of America, 1979.
- Descriptions and illustrations of the Morelos program.
Hughes Aircraft Company (for training).
United States of America, 1985.
- Sistema Nacional de Satélites Morelos.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
México, D.F., 1985.
- Elements of electronic instrumentation an measurement.
Joseph J. Carr.
Reston Publishing Company, Inc.
Aprentice - Hall Company.
Reston, Virginia 22090, 1979.
- Instrumentación electrónica de laboratorio.
División de educación continua
Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
México, D.F., 1987.

- Comunicaciones Espaciales.
Escuela Nacional de Telecomunicaciones.
México, D.F., 1981.
- Equipos de fuerza y clima.
Dirección de Servicios a Clientes
Teléfonos de México, S.A. de C.V.
México, D.F., 1982.
- Manual de mantenimiento de instalaciones industriales.
A. Baldin - L. Furlanetto.
Gustavo Gil, S.A.
Barcelona, 1982.
- Establishing a Preventive Maintenance Program.
J.B Singh - Russell M. Allen.
Plant Engineering.
Pennsylvania, 1986.
- Dynamic Scheduling of a Preventive Maintenance.
Programme.
E. Emory Enscore, Jr. and David L. Burus.
Pennsylvania State University, 1983.
- Manual de Mantenimiento Industrial.
L.C. Morrow.
Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
Tomo I.
México, D.F., 1987.
- Revista de Higiene y Seguridad.
Asociación Mexicana de Higiene y Seguridad, A.C.
Volumen XXII No. 6.
México, D.F., Junio de 1982.
- Información técnica de sistemas de RF.
Hughes Aircraft Company.
United States of America, 1985.
- Performance Characteristic of Earth Station
in the Intelsat IV y V (Band 6/4 Ghz.)
- Diario Oficial de la Federación.
México, D.F., Junio de 1978.