



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

MANUAL PARA EL DISEÑO Y ANALISIS DE SISTEMAS DE TELEMETRIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO

P R E S E N T A N :

VICTOR LOPEZ CASTELLANOS

MIGUEL ZARATE ROSEY



DIRECTOR DE TESIS: M.I. DAMIAN FEDERICO VARGAS SANDOVAL

MÉXICO, D. F.

JULIO 2002

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**A mis padres,  
por su cariño y apoyo.**

**A mis profesores, gracias por  
compartir sus conocimientos conmigo.**

**A los honorables miembros del jurado:**

**Ing. Mario Ibarra Pereyra**

**Ing. Juan Fernando Solórzano Palomares**

**Ing. Rodolfo Peters Lammel**

**Dr. Bohumil Psenicka**

**M.I. Federico Vargas Sandoval: Director de tesis.**

**Miguel Zárate Rosey**

## **AGRADECIMIENTOS DE VÍCTOR**

**A MARTHA EDITH CASTELLANOS MACHORRO Y  
FABIÁN FCO. LÓPEZ CAMBRÓN,**

MIS PADRES, GRACIAS POR TODO EL AMOR Y CUIDADOS QUE DEPOSITARON EN MÍ,  
LOGRANDO FORMARME COMO INDIVIDUO DE BIEN. ESTOY ORGULLOSO DE USTEDES.

**A CARINA Y ADRIÁN LÓPEZ CASTELLANOS,**

MIS HERMANOS, POR SU GRAN APOYO Y TODO LO QUE HE APRENDIDO CON USTEDES.

**A MARGARITA MACHORRO DE PAVÓN, MI ABUELITA Y A TERE CORTÉS MACHORRO, MI  
TÍA, POR SU CARIÑO.**

**A LA MEMORIA DE MI TÍA TETÉ RODRÍGUEZ ALCÁNTARA.**

**A ELIZABETH FLORES CARRIÓN,**

POR TU ENTEREZA Y LO QUE SE LOGRA A TRAVÉS DE TU AMOR.

**A JOSÉ ANTONIO PÉREZ AVENDAÑO,**

POR AYUDARME A CRECER Y A RECONOCERME.

**A BENJAMÍN GUZMÁN ROJAS,**

QUIEN AL SER UN GRAN PROFESOR EN LA SECUNDARIA, ME AYUDÓ A DESCUBRIR MI  
VOCACIÓN.

**A MIGUEL ZÁRATE ROSEY,**

POR TU GRAN COMPAÑERISMO Y AMISTAD.

**A MIGUEL A. LINARES VENEGAS,**

**ALEJANDRO GUERRA QUIJANO,**

**XAVIER GÓMEZ TERÁN,**

MIS AMIGOS, POR LOS BUENOS MOMENTOS COMPARTIDOS.

**A LOS HONORABLES MIEMBROS DEL JURADO:**

**ING. MARIO IBARRA PEREYRA**

**ING. JUAN FERNANDO SOLÓRZANO PALOMARES**

**ING RODOLFO PETERS LAMMEL**

**DR. BOHUMIL PSENICKA**

**M.I FEDERICO VARGAS SANDOVAL: DIRECTOR DE TESIS**

# MANUAL PARA EL DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TELEMETRÍA

|  | pag. |
|--|------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                    | 3    |
| <b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES</b> .....                        | 5    |
| 1.1 DEFINICIÓN.....  | 5    |
| 1.2 VISTA GENERAL A LOS SISTEMAS DE TELEMETRÍA.....          | 5    |
| 1.3 DESARROLLO HISTÓRICO.....                                | 6    |
| <b>CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE TELEMETRÍA</b> .....              | 12   |
| 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEMETRÍA...           | 12   |
| 2.2 SISTEMAS DE RADIOTELEMETRÍA.....                         | 13   |
| 2.3 SISTEMAS DE BIOTELEMETRÍA.....                           | 17   |
| 2.4 EJEMPLOS.....  | 22   |
| <b>CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES DE DISEÑO</b> .....           | 26   |
| 3.1 ADQUISICIÓN DE DATOS.....                                | 27   |
| 3.1.1 TRANSDUCTORES.....                                     | 28   |
| 3.1.1.1 CLASIFICACIÓN DE TRANSDUCTORES.....                  | 29   |
| 3.1.1.2 CARACTERÍSTICAS.....                                 | 31   |
| 3.1.1.2.1 CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS.....                     | 31   |
| 3.1.1.2.2 CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS.....                     | 35   |
| 3.1.2 ACONDICIONADORES DE SEÑAL.....                         | 36   |
| 3.2 TÉCNICAS DE MULTICANALIZACIÓN Y ACCESO<br>MÚLTIPLE.....  | 38   |
| 3.2.1 MULTICANALIZACIÓN.....                                 | 38   |
| 3.2.2 SISTEMAS DE ACCESO MÚLTIPLE.....                       | 42   |
| 3.3 MODULACIÓN.....  | 44   |
| 3.3.1 MODULACIÓN ANALÓGICA.....                              | 44   |
| 3.3.2 MODULACIONES DIGITALES.....                            | 47   |
| 3.4 CANALES.....   | 53   |
| 3.5 PROCESAMIENTO, GRABACIÓN Y PRESENTACIÓN DE<br>DATOS..... | 69   |
| 3.5.1 PROCESAMIENTO DE DATOS.....                            | 69   |
| 3.5.2 GRABACIÓN DE DATOS.....                                | 70   |
| 3.5.3 PRESENTACIÓN DE DATOS.....                             | 70   |
| 3.6 OTROS FACTORES.  |      |
| 3.6.1 FUENTES DE ENERGÍA.....                                | 71   |
| 3.6.2 AMBIENTES.....   | 78   |
| 3.6.3 TÉCNICAS DE MINIATURIZACIÓN.....                       | 85   |

|   |            |
|---|------------|
| 3.6.4 TELEMETRÍA PASIVA.....                | 91         |
| 3.6.5 TELECONTROL.....                      | 92         |
| 3.6.6 ANTENAS.....                          | 92         |
| 3.6.7 DISTANCIAS.....                       | 95         |
| 3.6.8 CONFIABILIDAD Y ESTABILIDAD.....      | 95         |
| 3.6.9 TIPO DE OPERACIÓN.....                | 95         |
| 3.6.10 TIEMPO DE VIDA.....                  | 95         |
| 3.6.11 ESTÁNDARES.....                      | 96         |
| 3.6.12 LIMITACIONES DE LA TELEMETRÍA.....   | 98         |
| <b>CAPITULO 4: TENDENCIAS A FUTURO.....</b> | <b>99</b>  |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>                   | <b>104</b> |
| <b>APÉNDICE AI.....</b>                     | <b>105</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                    | <b>113</b> |

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar los aspectos a considerar en el diseño y análisis de sistemas de telemetría y simultáneamente proveer a lo largo de los capítulos una recopilación de referencias a bibliografía relacionada con el campo de la telemetría. El trabajo se desarrolló por medio de investigación en diversas fuentes relacionadas con el tema. El alcance que se logra con esta revisión es el que se limita a las obras de las que se dispone en las bibliotecas, bases de datos científicas, periódicos, revistas, memorias de congresos y en Internet. Este trabajo, al perseguir el objetivo de ser un manual de diseño de sistemas de telemetría, describe los tópicos más importantes a considerar en el diseño, análisis y planeación de un sistema de telemetría. Los temas a considerar son muy vastos y comprenden varias áreas de estudio, por lo que no se profundizará en temas que se llegan a cubrir en volúmenes completos; sin embargo, se trata de contextualizar cada uno de los diferentes aspectos de los sistemas de telemetría. Se puede asegurar que se abordarán estos temas de una manera general, pero suficiente para orientar al diseñador hacia donde dirigir sus esfuerzos. De esta manera el diseñador podrá decidir, de acuerdo a las circunstancias que se le presenten, qué tipo de sistema debe elegir y con qué características particulares. Esto se hace resaltando la relevancia de los diferentes temas para los sistemas de telemetría.

La telemetría se define como la medición de alguna cantidad con la ayuda de medios que permitan interpretar la medida a una distancia del detector primario. La telemetría se puede aplicar en muy diferentes circunstancias. Por ejemplo, en ciencias como la biología, la medicina humana o la veterinaria es común la necesidad de obtener variables fisiológicas de seres sujetos a estudio, sin que los instrumentos interfieran de manera significativa con estas mediciones, es decir que no impidan el libre desplazamiento y que no induzcan cambios en las variables ajenas a la naturaleza de las mismas. Esta actividad es mejor conocida como biotelemetría y es una de las ramas más importantes de los sistemas de telemetría, por esto se dedica una parte de este trabajo a cubrir sus particularidades sin menoscabo de la presentación de las otras múltiples categorías en las que se divide este gran aspecto de las telecomunicaciones llamado telemetría.

Es sabido que los sistemas de telemetría son sistemas que satisfacen problemas particulares en diversas áreas científicas e industriales. A consecuencia de esto, se consideran sistemas de diseño específico y tienen la característica de que no es posible, la mayoría de las veces, usar un mismo sistema para aplicaciones con apenas unas variantes de diferencia entre ellos. Todo lo anterior hace que el costo de estos sistemas se incremente de manera significativa, pues en general requieren de un alto conocimiento técnico alrededor de ellos. Actualmente en México no es grande la oferta de productos para telemetría; sin embargo, esto no es indicativo de las necesidades de sistemas de este tipo, ya que estos sistemas por lo general se compran en el extranjero con el consecuente efecto económico adverso. Este aspecto que implica el desarrollo de tecnología en el país, es una más de las motivaciones que acompañan a este trabajo. Cabe mencionar que los sistemas de telemetría son productos con un muy alto valor agregado.

Las formas en que se presenta la telemetría son muy diversas, por lo que alcanzaremos a tratar sólo los sistemas de telemetría electrónicos, es decir, que su comunicación es por señales eléctricas. Estos son por mucho los de mayor aceptación y uso. Dentro de la categoría de los electrónicos, la también muy utilizada subcategoría de radiotelemetría también es importante objeto de estudio. Sin embargo, no está por demás mencionar que existen sistemas de telemetría diferentes como son los sistemas cuya comunicación es por señales neumáticas, hidráulicas u ópticas; aunque un caso particular de comunicación óptica, cuando se usa como canal la fibra óptica, si es tratado.

En general la información relacionada al tema de la telemetría se encuentra muy dispersa; por lo que es esfuerzo de este trabajo presentar en una sola obra la información de distintas fuentes. Por otra parte, siendo un sistema de telemetría un tipo especial de sistema de comunicaciones, son muy importantes para este trabajo las obras relacionadas con las

telecomunicaciones. Pero hay un punto en que estas ya no pueden cubrir a detalle los aspectos propios de la telemetría, entonces se hizo necesario extraer de casos específicos de telemetría los aspectos fundamentales que sirvieron de criterio en el diseño de esos sistemas, así como señalar las técnicas y los recursos que se usaron en la solución de estos casos, pero bajo la condición de que estas soluciones fueran lo suficientemente representativas como para ser generalizadas a casos similares. De lo anterior se realzan los alcances y la importancia que puede tener un trabajo de este tipo para el área de la telemetría.

En el primer capítulo se pueden encontrar los antecedentes que ayudan a comprender el significado de los sistemas de telemetría, su utilidad y el desarrollo histórico que permite comprender cuáles son los principales motores que han dado impulso a la telemetría. Es muy importante conocer esto porque nos permite prever como evolucionará esta actividad. Más adelante, en el capítulo segundo se analiza la radiotelemetría y la biotelemetría, que son los dos principales tipos de telemetría, así como dos ejemplos donde se aprecia el potencial de estos sistemas. En el tercer capítulo, se tratan los aspectos a considerar al diseñar un sistema de telemetría. Para esta tarea se divide al sistema de telemetría general en sus bloques constitutivos y se detalla cada uno de ellos. Para finalizar, en el cuarto capítulo se plantean los escenarios posibles, para la telemetría en cuanto a los campos donde se aplicará, así como los posibles avances tecnológicos que incorporará. Cabe mencionar que estos escenarios futuros se acercan cada vez más rápido y algunos de ellos ya están siendo una realidad.

# CAPITULO I: ANTECEDENTES

## 1.1 DEFINICIÓN.

Dentro de las principales definiciones de la telemetría tenemos:

- Es el proceso que mide una cantidad y luego la transfiere a una localidad remota para ser grabada, desplegada o para controlar un proceso.
- La FCC(Federal Communications Commission) define la telemetría como el uso de las telecomunicaciones para indicar automáticamente o grabar mediciones a distancia desde el instrumento de medición.
- La telemetría se define como la medición de alguna cantidad con la ayuda de medios que permitan interpretar la medida a una distancia del detector primario.

Existen casos particulares en los que telemetría soluciona la inconveniencia en el horario de ciertas mediciones. Por ejemplo, para medir alguna variable del algún ente biológico durante la noche en algún laboratorio, sería muy incómodo para el investigador permanecer en vela, por lo que un sistema de telemetría que grabe las mediciones y registre la hora, le puede ser de gran utilidad.

## 1.2 VISTA GENERAL A LOS SISTEMAS DE TELEMETRÍA<sup>1</sup>.

La telemetría o la medición a distancia, toma muchas y variadas formas. Puede usar los principios de propagación por ondas de radio, electrónica, óptica, mecánica, o hidráulica para transportar mediciones hechas en un lugar a indicadores, actuadores, grabadores, computadoras u otros. Por mucho, los sistemas de telemetría más populares son los electrónicos y usan enlaces de radio o de alambre para transportar la información.

En la medida que tienen éxito proyectos tecnológicos como un vehículo espacial instrumentado, más sorprendentes y espectaculares nos resultan los logros de la telemetría. Esto es porque todavía hay algo emocionante y misterioso acerca de hacer medidas de una cantidad física en una localización distante y reproducirlas con precisión en un lugar más conveniente para su lectura o registro. Sin embargo, a pesar de las vastas distancias sobre las que la telemetría se ha extendido, técnicamente es más sencillo alcanzar grandes distancias que resolver los problemas complejos que plantean algunas aplicaciones industriales a consecuencia de una casi completa inaccesibilidad a las variables de interés. Por ejemplo, son más fáciles de medir las señales de un misil lanzado al espacio en un ensayo que las señales dentro de un motor a sólo 30cm de distancia. Es ingenuo pensar que es más fácil sobrepasar un ambiente de operación determinado como por ejemplo encontrar la temperatura de un rotor girando, encerrado en un gabinete metálico y rodeado por fuertes campos magnéticos y eléctricos alternados, que tomar mediciones del equipo de instrumentos llevado por un misil acelerándose a través del incómodo ambiente espacial. La tecnología que ha producido la telemetría espacial y de misiles también está produciendo un gran número de formas de radio telemetría industrial, capitalizando el desarrollo de nuevos transductores, poderosos transmisores en miniatura, fuentes de poder autocontroladas mejoradas y mejores técnicas para protegerse de los diversos ambientes en que se hace la medición.

De forma simple, la telemetría es medir a distancia. El sistema de telemetría básico consiste en tres bloques: transductor de entrada, transmisor y la estación receptora. En primer lugar, en el punto remoto se requiere un transductor, que es el dispositivo que convierte la cantidad física de interés en una señal, usualmente una eléctrica, para que de esta manera pueda ser más

<sup>1</sup> Cfr. Hoepfner, Conrad H "Capítulo 71: Telemetry" en The electrical engineering handbook Dorf, Richard C editor en jefe

convenientemente transmitida. Después se necesita un enlace entre el lugar de la medición y el lugar donde se lee la medición. El enlace puede ser por circuito eléctrico, o por líneas hidráulicas o neumáticas, un haz de luz o ahora más prácticamente, una portadora de radio. Los sistemas ópticos, mecánicos, neumáticos e hidráulicos representan el segmento más pequeño de campo de la telemetría en comparación con los sistemas eléctricos y de radio. Estos últimos son los que serán tratados aquí.

Los sistemas de telemetría eléctricos proliferaron a través del espacio, los campos de batalla y sitios industriales, variando en tamaño, configuración y capacidad de transporte de información en sus diversas aplicaciones. La investigación espacial y el desarrollo de los misiles usaron los primeros sistemas de telemetría multicanal. Los sistemas, desarrollados por los Laboratorios de Investigación Naval en E.U y construidos por la compañía Raytheon fueron los primeros en ser usados para explorar el exterior de la atmósfera de la Tierra en los cohetes alemanes V2 lanzados en el campo de pruebas White Sands E.U. Estos sistemas usaban modulación por posición de pulso a distancias mayores de 160 km. De 1945 en adelante, la telemetría se desarrolló rápidamente y encontró su camino en los varios misiles que también estaban siendo desarrollados. Mientras tanto, la telemetría industrial se ha desarrollado a lo largo de diferentes líneas, produciendo cápsulas completas miniaturizadas para aplicaciones al control de procesos, detección de defectos y diseño de máquinas. La ciencia médica está actualmente usando la telemetría en aplicaciones experimentales, clínicas y de diagnóstico. Algunas de las características particulares del cuerpo que se miden son ritmo cardíaco, ondas cerebrales, presión de sangre, temperatura, patrones de voz, sonidos cardíacos, sonidos respiratorios y tensiones musculares; de manera similar se hacen estudios en las áreas psicológicas y biológicas no humanas y donde las menores restricciones en la experimentación, permiten implantes de transmisores dentro de animales vivos.

### 1.3 DESARROLLO HISTÓRICO<sup>2 3 4</sup>:

El primer uso conocido de la telemetría fue el de Shilling en Rusia en 1812 para realizar la explotación de minas. Desde esa época, la telemetría se ha desarrollado hacia aplicaciones industriales haciendo uso de técnicas alambradas; las inalámbricas se usaron más para vehículos aéreos y pruebas de misiles. Posteriormente, las técnicas empleadas en misiles se usaron para obtener datos de vehículos espaciales. Este último desarrollo, además de las técnicas desarrolladas en misiles, ha requerido un regreso a componentes de larga vida que eran más comunes en aplicaciones industriales. Ahora más que nunca se requieren componentes más confiables.

Un gran ímpetu a la radio telemetría vino con la necesidad de desarrollar aeronaves las cuales requerían grandes cantidades de datos mientras volaban. Dichos datos fueron primero grabados, pero después se encontró más favorable que fuesen transmitidos directamente vía radio. Esto se hizo de particular importancia con el desarrollo de aeronaves sin piloto en el periodo inmediato a la Segunda Guerra Mundial. Por la misma época, los avances en misiles empezaron a expandirse a pasos acelerados. En 1944, el cohete V-2 se perfeccionó. De Septiembre 6 de 1944 a Marzo de 1945, 1,027 de estos cohetes se lanzaron desde el campo de pruebas "The Hague" con 92,3% de éxito en los lanzamientos. Este cohete tenía un alcance mínimo de 320 millas y una cabeza de 900kg. Pesaba 14 toneladas al despegue y tenía 14m de alto y 1.6m de diámetro. Subsecuentemente muchos de estos cohetes se lanzaron a la alta atmósfera para propósitos de investigación. En 1954, los Estados Unidos se encargaron del desarrollo de los misiles ICBM e IRBM y por la misma fecha empezó el desarrollo del satélite para el programa IGY (International Geophysical Year) el cual comenzó en 1957. Al mismo tiempo dicha actividad fue realizada en

<sup>2</sup> Cfr. Gruenberg, Elliot L. Handbook of Telemetry and Remote Control Capítulo 1: Fundamentals

<sup>3</sup> Cfr. Burden, D J H "Radio in the Utilities Industry", en 100 Years of radio, 5-7 september 1995, Conference Publication 411, IEE, 1995.

<sup>4</sup> Cfr. Montano, William G. Et al "Twenty-First Century Telemetry", en International Telemetry Conference 1990.

Rusia. Estos eventos culminaron exitosamente en el lanzamiento en 1957 del Sputnik I y II, y en 1958 el Explorer I y el Vanguard I. En 1958 se fundó la Administración de Aeronáutica Nacional y del Espacio (National Aeronautics and Space Administration NASA) y las actividades espaciales se aceleraron. Desde entonces se han lanzado muchos vehículos espaciales llevando radio transmisores espaciales.

En un inicio los anchos de banda telemétricos eran muy angostos. Los receptores tenían módulos de amplificadores de frecuencia intermedia con filtros de 10 kHz a 500kHz. La subportadora de telemetría más alta era 70kHz y los formatos más usados eran PAM(modulación por amplitud de pulso) y PDM(modulación por duración de pulso). Se constituyeron enlaces de conmutación operando a 600 MHz para proveer la cobertura que requerían las pruebas de misiles de largo alcance.

Las pruebas de misiles en Utah y Ft. Wingate, Nuevo México para los programas Athena y Pershing requerían que el procesamiento de los datos de la telemetría desde el lanzamiento al impacto fueran procesados en tiempo real en el campo de pruebas White Sands Missile Range (WSMR). Durante el programa Hound Dog de principios de los 60's, White Sands Missile Range usó un enlace de conmutación para relevar la telemetría desde Del Rio, Texas hasta WSMR. La grabación de datos se hizo por una grabadora de cinta magnética Ampex 309 y 500. Las grabaciones oscilográficas se hicieron en papel fotográfico o en película.

Más adelante, la telemetría que se adquiría en WSMR se acompañó con el uso de dos Sistemas de Adquisición de Datos (Telemetry Acquisition System ) de 24 pies localizados en Jig - 10 y Jig-67 ,correspondientes a centrales de telemetría en Salinas Peak y Alamo Peak respectivamente, y un modelo más reciente de adquisición telemétrica (TAS II) en la Jig-56 en Dry Site. Estos tres sistemas son usados para soportar las misiones de los Sistemas de Transportación Espacial (Space Shuttle). La telemetría y los datos de televisión se transmiten vía el SATCOM II al Centro de Vuelo Espacial Goddard en Greenbelt, Maryland y al Centro de Control Espacial Johnson en Houston, Texas. Hay siete Sistemas de Adquisición Telemétrica transportables que están desplegados a lo largo de la distancia de recorrido y fuera de ésta para el soporte de las misiones. Los datos de la telemetría recibida por estos sistemas son relevados a Jig-56 donde se desmultiplexa y se graba en cinta. Las señales de telemetría son entonces relevadas al Centro de Datos de Telemetría a través del Sistema de Adquisición y Relevo de Telemetría (Telemetry Acquisition and Relay System TARS) así como a través de los sistemas de Microondas y de fibra óptica.

Los receptores de telemetría controlados con microprocesador llegaron después, dando auge a la transmisión con datos PCM (pulse code modulation). Como resultado se refinan y se generalizan las técnicas para comunicaciones digitales usadas en telemetría. Por ejemplo, la verificación de los datos y del enlace se hacía utilizando un sistema llamado Sistema Automático de Calibración (Automatic System Calibration ASC) para simular la portadora de telemetría de cada misión y su desviación usando una secuencia de bits pseudoaleatoria. Esta prueba se realiza a la velocidad de transmisión que se usa en la misión, para de esta manera obtener la tasa de bits en error.

Por su parte, la carrera espacial ha dado y sigue aportando enormes avances al campo de la telemetría, siendo un ejemplo clásico de la telemetría la medición de las variables de un satélite y el desarrollo de los vehículos espaciales. Dentro de estos avances se encuentra la misión Pathfinder de la NASA la cual fue lanzada desde Florida en Diciembre de 1996 y tocó suelo en Marte el 4 de Julio de 1997. La misión cargó un explorador llamado Sojourner que se encargó de realizar experimentos, transmitir imágenes e información. Siendo esta misión uno de los ejemplos de la más avanzada telemetría y telecontrol conocidos. Pero no sólo la industria militar y la carrera espacial han impulsado los desarrollos en la telemetría, también otro tipo de industria ha jugado un papel decisivo en estos sistemas, estas son las compañías estatales.

Las compañías que prestan un servicio público ya sea con capital privado o del estado han tenido una influencia muy grande en los sistemas de radiocomunicación y en particular en la telemetría. A continuación explicaremos la relación entre el desarrollo de las comunicaciones y este tipo de industrias.

La transmisión por radio ha sido esencial para la industria, y es inconcebible que la industria pueda sobrevivir sin este tipo de comunicaciones. Las mayores aplicaciones que requieren estas industrias son:

- El control eficiente de la fuerza de trabajo en desplazamiento mediante la determinación de su ubicación.
- Dar respuestas rápidas a las urgencias a través de la supervisión de mediciones remotas evitando así la pérdida de tiempo en los traslados para el diagnóstico de las fallas.
- Dar enlaces de telemetría a localidades remotas y de difícil acceso.
- Proveer mayores niveles de calidad en el servicio al cliente como por ejemplo la lectura automatizada, por telemetría, de los medidores de luz.

Mientras la telemetría industrial se desarrollaba hacia el uso de computadoras digitales, un sistema típico moderno fue la Stirlington Station de la compañía de luz y fuerza de Louisiana en 1958. Aunque los Estados Unidos empezaron a usar enlaces de radio, para señales de telemetría y de telecontrol, alrededor de 1950, para 1960 ya tenían instalados sistemas trabajando a 1,2 y 6 GHz y ofreciendo tasas de transmisión de 4 kBps. En las compañías inglesas se buscaron los enlaces de UHF o de microondas en 1956 para remplazar sistemas poco confiables de líneas terrestres, pero encontraron que sólo estaba disponible el equipo norteamericano y éste era muy caro. La necesidad de radio telemetría era amplia en la industria así que para 1960 las grandes compañías como las petroleras, eléctricas y de gas ya contaban con enlaces de telemetría inclusive para radiobases móviles. Los años sesentas y setentas vieron gran avance en los sistemas de telemetría en primer lugar como resultado de los avances en tecnología computacional. Por ejemplo, la compañía inglesa British Gas Corporation usó la computadora Argos para proveer la telemetría de sus nuevas tuberías de alta presión y en 1977 en la hidroeléctrica del norte de Escocia empezó a usar el SALOME (Subsystem Alarm Load Operational Management Equipment), el cual usaba las comunicaciones por radio existentes para manejar las subestaciones.

La conversión en las ciudades a gas natural fue un catalizador para desarrollar los enlaces compuestos, la expansión de la red de alta presión demandaba constantes y confiables sistemas de comunicación. En los años ochenta se dió una expansión significativa de los enlaces de microondas punto a punto para proveer voz y datos digitales en los enlaces principales de las redes de comunicaciones. Para los noventas, la industria estaba usando sistemas multicanales automatizados de telemetría y control, de los cuales la mayoría estaban en las compañías suministradoras de agua. También en estos años han proliferado los sistemas de radio de baja potencia que operan en bandas no restringidas los cuales se usan para comunicaciones dentro de la misma área y también para llevar telemetría, alarmas y otra información a sitios adyacentes. La causa de que este tipo de compañías tuvieran desarrollos en esta área trajo la necesidad de establecer asociaciones o comités para regular, coordinar y estandarizar la actividad.

Actualmente se están usando sistemas en los cuales la lectura de los medidores de agua, gas o electricidad son automáticamente enviados a una central concentradora y de ésta a la compañía para la facturación y cobro. También este tipo de telemetría se usa para la detección de fallas en las redes de distribución. Cabe mencionar que en las ciudades se usa más la telemetría alamburada ya que la red telefónica o de fibra óptica es la que permite estos sistemas, pero los costos de la telemetría alamburada son muy altos para localidades remotas, por lo que se usan en mayor medida para estos caso los enlace de radio.

Aunque las compañías de las que hemos hecho mención se han privatizado haciendo énfasis en los costos y en el aspecto comercial y de servicio al cliente, la tecnología, incluyendo la radiocomunicación es vista como la clave de las ventajas competitivas y de eficiencia. Una tendencia que es importante resaltar es aquella donde las compañías que requieren los servicios de comunicación subcontratan a otras empresas especializadas en comunicaciones a diferencia del pasado donde las grandes compañías se proporcionaban ellas mismas sus comunicaciones.

El desarrollo de la telemetría ha tenido tres potentes motores, el primero es la industria militar, el segundo la carrera espacial y finalmente las industrias paraestatales. Es de notar también que los desarrollos en la telemetría van íntimamente ligados a los avances en otros campos como la electrónica, el procesamiento digital, los sistemas en red, etc. La tabla 1-I presenta un resumen de los principales hechos relacionados al campo de la telemetría.

**TABLA 1-I Acontecimientos importantes para la telemetría<sup>5</sup>**

|           |   |
|-----------|---|
| 1812      | Shilling, un ruso usó la telemetría en la explotación de minas.   |
| 1845      | Takobi inventó un sistema de transmisión de datos militar. Konstantinov y Pouli desarrollaron un telediodo para grabar y analizar el vuelo de balas de cañón.                     |
| 1857      | Buques de guerra tuvieron telégrafo entre el puente de mando, las máquinas y los puestos de armas.  |
| 1874      | Olland desarrolló telemetría meteorológica para mediciones en Mont Blanc.   |
| 1887      | Heinrich Hertz verifica la teoría de Maxwell  |
| 1889      | Una patente que comprendía ajuste inductivo a un contador de interrupciones por telemetría fue otorgada a P. Moennith.  |
| 1893      | Tsiolkowski publicó su primer trabajo en cohetes.   |
| 1901      | C.J.A Michalke patentó el motor de posición, predecesor del Selsyn (selector sincronizador).  |
| 1901      | Primer vuelo aéreo y la primera demostración de radio transatlántico.   |
| 1906      | Golitsyn desarrolló un telediodo sísmico en Pulkovo.  |
| 1912      | El primer sistema telemétrico para despachar carga instalado por la Commonwealth Edison System de Chicago.  |
| 1913      | El primer uso de un radio telémetro meteorológico por el Weather Bureau.  |
| 1913-1914 | Se usó la telemetría extensamente en el canal de Panamá.  |
| 1922      | Goddard prueba el primer cohete con combustible líquido.  |
| 1930      | Astin y Curtis desarrollan la radiosonda.   |
| 1941-1945 | La telemetría con técnicas FM-FM, PAM y PDM estaban bajo desarrollo en el Laboratorio Palmer en la Universidad de Princeton y el laboratorio de física aplicada de la Universidad |

<sup>5</sup> Gruenberg, Elliot L. Op. Cit. p.1-3

|      |   |
|------|---|
|      | de John Hopkins. Estos avances fueron aplicados a aeronaves y a misiles.  |
| 1944 | Se perfecciona el cohete V-2.   |
| 1945 | Se establece el campo de pruebas White Sands.   |
| 1946 | Se establece el grupo de experimental de misiles guiados en Eglin Field, Florida y el primer misil lanzado en Naval Air Facility en Point Magu, California.   |
| 1946 | El proyecto Rand dice que es posible un satélite artificial.  |
| 1947 | El V-2 instrumentado por la NRL por primera vez cargó telemetría para investigación de la alta atmósfera.   |
| 1947 | Sistemas PCM fueron analizados por Pierce, Shannon, y Oliver.   |
| 1947 | La naval desarrolló un sistema de telemetría multicanal.  |
| 1947 | La primera Conferencia Nacional de Telemetría.  |
| 1947 | Se establece el Centro de Pruebas de Misiles de la Fuerza Aérea en Cabo Cañaveral.  |
| 1954 | El primer sistema de telemetría PCM.  |
| 1957 | El programa IGY (International Geophysical Year) empieza en Julio. Los rusos lanzaron los Sputniks I y II y los Estados Unidos el Explorer I y Vanguard I.  |
| 1958 | Se lanza el SCORE, la primera transmisión de satélite. Contenia 35lb de equipo de comunicaciones.   |
| 1958 | Se establece la NASA.   |
| 1958 | Se instaló un sistema automático de distribución de energía en la estación Stirlington de la compañía de luz y fuerza de Louisiana.   |
| 1958 | Jack Kilby de Texas Instruments desarrolla el primer circuito integrado.  |
| 1960 | El Pioneer V hizo su primera transmisión de largo alcance desde 5 millones de millas.   |
| 1962 | La primera transmisión satelital de televisión.   |
| 1962 | Se registró una radiotransmisión del Mariner II a 51 millones de millas en la vecindad del planeta Venus. Se le transmitieron comandos al vehículo a 41 millones de millas.   |
| 1963 | Un enlace de comunicaciones operado desde una órbita síncrona inclinada.  |
| 1964 | Se establece la Fundación Internacional para la Telemetría IFT.   |
| 1964 | El sistema de conmutación telefónico electrónico.   |
| 1965 | Se obtuvo una transmisión digital por radio de fotografías del Mariner IV en la vecindad de Marte a una distancia de 150 millones de millas. La tasa de bits fue 81/3 de bits/sec. Cada foto consistía de 240,000 bits. |

|      |   |
|------|---|
| 1969 | Llegada del hombre a la Luna.   |
| 1971 | Intel desarrolla el primer microprocesador monolítico.  |
| 1976 | Se desarrollan las PC.  |
| 1979 | Circuitos integrados con alto grado de integración.   |
| 1985 | Inicia la era del procesamiento digital, sistemas de fibras ópticas, redes celulares e Internet. Sistemas GPS y constelaciones satelitales (LEO) Low Earth Orbit. |
| 1996 | Misión Pathfinder de la NASA al planeta Marte.  |

Continuación TABLA 1-I Acontecimientos importantes para la telemetría.

En el siguiente capítulo se estudia la clasificación de los sistemas de telemetría así como los dos principales tipos de sistemas de telemetría que son los de radiotelemetría y los de biotelemetría.

## CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE TELEMETRÍA.

### 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEMETRÍA.

Los sistemas de telemetría se pueden clasificar de acuerdo a diferentes criterios. Por esta razón, existen gran variedad de categorías. Además es muy importante mencionar que en general, según el criterio utilizado los sistemas de telemetría pueden pertenecer a más de una categoría a la vez. A los sistemas de telemetría se les puede clasificar por ejemplo, según su uso, el tipo de variable a medir, tipo de canal usado, tipo de fuente de alimentación, ambiente de operación, método de modulación, técnica de multiplexaje, forma de procesamiento de datos, tipo de grabación de datos, distancias de transmisión, etc. En la tabla 2-1 se puede observar una clasificación de los usos de los sistemas de telemetría según el campo de aplicación.

Tabla 2-1 Clasificación de sistemas de telemetría según área donde se aplican.<sup>6</sup>

| NEGOCIOS                                  | INDUSTRIA                                 |
|---|---|
| Contabilidad                              | Datos para control automatizado           |
| Transferencia de valores                  | Medición en fluidos                       |
| Alarmas contra robos                      | Medición de flujo de gases                |
| Alarmas de incendio                       | Control de tuberías                       |
| Control de inventarios                    | Instrumental de medición                  |
| Reservaciones                             | Tableros industriales de alarmas          |
| Etiquetadores en almacenes                | <b>COMUNICACIONES</b>                     |
| Telefirma(firma digital)                  | Controles remotos de radiodifusión        |
| Lectores de código de barras a distancia. | Controles remotos de radio enlace         |
| Teleimpresión                             | Circuitos alambrados para datos           |
| INVESTIGACIÓN                             | MILITAR                                   |
| Diseño de aviones                         | Televisión del campo de batalla           |
| Pruebas de vuelo                          | Monitoreo del personal                    |
| Aterrizaje en planetas                    | Monitoreo de radiaciones                  |
| Investigación médica                      | Operaciones de búsqueda y rescate         |
| Misiles                                   | Aviación de combate                       |
| Navegación                                | Misiles radio y tele guiados              |
| Experimentación nuclear                   | Redes de detección submarinas             |
| Radiosondas                               | <b>TRANSPORTACIÓN</b>                     |
| Satélites                                 | Navegación automática de aviones o trenes |
| Mediciones espaciales                     | Radares para detección de velocidad       |
| Mediciones climáticas                     | Radares para detección de tráfico         |
| Mediciones ambientales                    | Identificación de trenes                  |
| Monitoreo de volcanes                     |   |
| Investigación veterinaria                 |   |

Enseguida se tratan dos de las categorías más grandes y más importantes de la telemetría. Estas son la radjotelemetría y la biotelemetría.

<sup>6</sup> Gruenberg, Elliot L. Et al. Handbook of Telemetry and Remote Control Capítulo 1: Fundamentals p. 1-5

## 2.2 SISTEMAS DE RADIOTELEMETRÍA<sup>7</sup>

Una de las ramas más importantes de la telemetría es la radiotelemetría. La radiotelemetría, presenta muchas ventajas sobre los sistemas alambrados. Sin embargo, los diseños se tornan más complejos y requieren técnicas de ingeniería más complejas. La radiotelemetría empezó durante la Segunda Guerra Mundial para pruebas de naves y misiles. Para 1958 la FCC (Federal Communications Commission en E.U.A) asignó por primera vez las frecuencias para pruebas de naves aéreas.<sup>8</sup>

Algunos de los principales campos donde se requiere la radiotelemetría son:

- La obtención de datos en vehículos de prueba.
- La obtención de datos en armas operacionales.
- Pruebas y operaciones en la industria.
- Telemetría biológica y de ecosistemas.

Los principales aspectos que son importantes en un sistema de radiotelemetría son:

- Relación señal a ruido o la tasa de bits en error si el sistema es digital.
- El número de canales.
- Ancho de banda o tasa de bits si el sistema es digital.
- La precisión con la que se pretende obtener la medición.

Los sistemas de radiotelemetría son por mucho los sistemas de telemetría más usados. Esto es debido a las limitaciones que un sistema alambrado de telemetría presenta. Algunas de estas limitaciones son:

- 1) Dificultades para realizar mediciones en condiciones de desplazamiento.
- 2) Restricciones para alcanzar distancias grandes. Este último punto deja fuera todas las aplicaciones de misiles, naves o cualquier otra situación similar.
- 3) La necesidad de vigilar buenas conexiones y el incremento del peso debido a los hilos.

A causa de lo anterior muchos de los sistemas se han mudado a sistemas de radiotelemetría.

### DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE RADIOTELEMETRÍA.

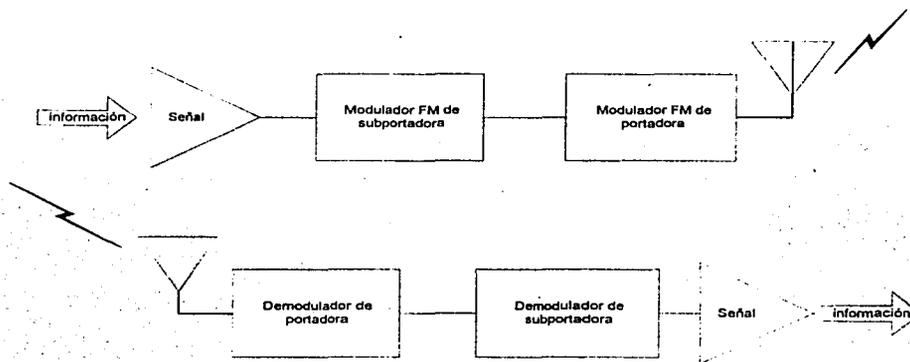
Para transmitir la información del transductor a través del aire, es necesario aplicar esta información a una portadora de más alta frecuencia como se hace comúnmente en el radio. La aplicación de la información del transductor a una portadora de más alta frecuencia se llama modulación. Una técnica usada para modular una portadora por la salida del transductor involucra uno de tres diferentes métodos o una combinación de ellos. Es posible modular analógicamente una portadora al cambiar su amplitud AM, su frecuencia FM o cambiar su fase PM.

Puede haber efecto de gran variación en la fuerza de la señal de radio recibida por las variaciones en la distancia entre el transmisor y receptor o por la interposición de objetos metálicos o la transmisión de radio telemetría industrial. Se puede prevenir la modificación de los datos por este efecto si se recurre para ambas, la portadora y la subportadora, a FM de manera que la señal de telemetría permanezca sin cambios por variaciones de amplitud indeseables. Este método se conoce como telemetría FM/FM (ver fig. 2.2-1). Un sistema típico de radiotelemetría de este tipo comprende: a) transductores que convierten medidas en señales eléctricas, b) un oscilador de

<sup>7</sup> Cfr. Gruenberg, Elliot L Op. Cit. Cap 1

<sup>8</sup> Doersam, C.H Jr. Et al. "Capítulo4: Radio Telemetry Systems" en Handbook of Telemetry and Remote Control editor en jefe Gruenberg, Elliot L p. 4-2 y 4-3

subportadora modulada por los transductores, c) un radio transmisor modulado por la subportadora, d) una antena transmisora e) una antena receptora, f) un radio receptor, y un discriminador de subportadora. Si se usa FM en la subportadora del transmisor, las señales del transductor modulan la frecuencia del oscilador de subportadora. Esto puede darse por un simple circuito resonante que produce una señal en la gama de frecuencias de audio, digamos 1000Hz el cual es variado por debajo y por encima por la señal del transductor conforme éste responde a la variable que se mide. Si la señal se alimentara a una bocina escucharíamos un tono variable. El oscilador de subportadora modula entonces una portadora de radiofrecuencia variando su frecuencia (FM) o su amplitud (AM) de acuerdo a la señal de la subportadora. La radiofrecuencia en radio telemetría industrial en FM está comúnmente en la banda de los 88MHz a 108MHz lo que permite usar receptores comerciales de radio en FM los cuales además de baratos tienen muy buena sensibilidad. Al extremo del enlace, un radio receptor demodula la señal elimina la portadora y alimenta con la subportadora un circuito especial discriminador que desaparece la modulación y reproduce con precisión la medida original para una calibración o grabación.



**Figura 2.2-1 Representación de un sistema FM/FM**

El radio enlace puede transmitir una señal análoga a la variable medida en el sentido que la señal del transductor sea la que module directamente a la portadora; o con métodos de codificación por pulsos mandar los datos de la medición digitalmente como un número finito de símbolos, representando un número finito de posibles valores de la señal de medición, al tiempo que se van tomando muestras (Pulse Code Modulation). El alcance del radio enlace está limitado por la potencia radiada hacia el receptor desde el transmisor y por la sensibilidad del receptor. A más ancho de banda mayor el efecto del ruido y en consecuencia se requiere más potencia de transmisión para detectar sin error la señal, esto es principalmente porque la potencia promedio por bit disminuye a medida que se aumenta la velocidad de transmisión.

La descripción más general de un sistema de radiotelemetría es la mostrada en la figura 2.2-2<sup>9</sup>, donde el sistema en conjunto tiene los siguientes componentes:

- 1) Sistema colector de datos
- 2) Uno de los siguientes sistemas de multiplexaje:
  - Sistema FDM
  - Sistema TDM

<sup>9</sup> Carden, Telemetry Systems Design Cap 2

- Un sistema híbrido el cual es una combinación de FDM y TDM

- 3) Modulador, transmisor y antena.
- 4) Canal de transmisión
- 5) Antena, receptor RF, sección IF, demodulador de portadora.
- 6) Sistema demultiplexor para TDM, FDM o sistema híbrido.
- 7) Procesador de datos.

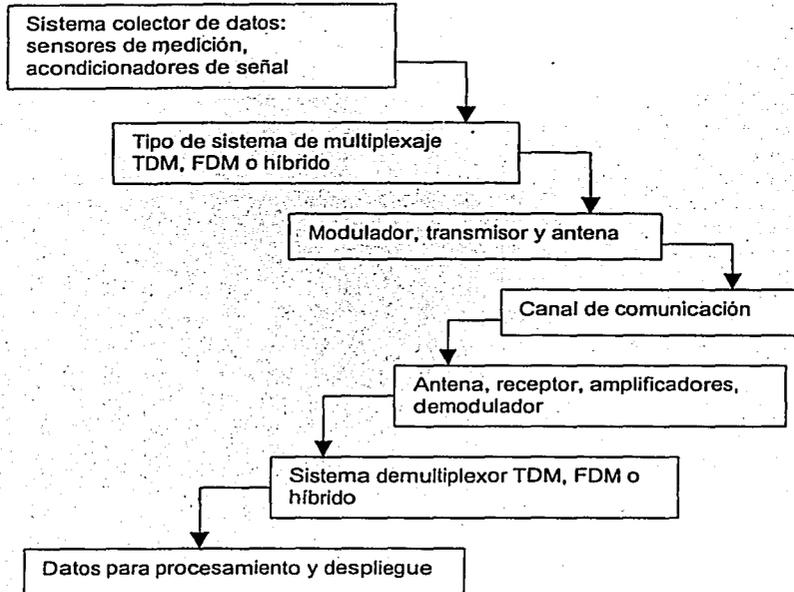


Figura 2.2-2. Diagrama de un sistema de radiotelegrafía.

El primer subsistema, es el sistema colector de datos, el cual está compuesto por sensores o transductores que convierten la variable física en una señal útil. La conversión de la información deseada en una forma capaz de ser transmitida al receptor es una función del tipo de transductor usado. Los transductores convierten las cantidades físicas a ser medidas, en señales eléctricas, de luz, señales neumáticas o hidráulicas entre otras. El tipo de energía al que se convierten se determina por el tipo de transmisión deseada. Por ejemplo, si la transmisión es óptica se buscará un transductor cuya salida sea de luz o hidráulica si la transmisión será por medios hidráulicos. En un sistema de radio telemetría el transmisor y el receptor tienen mucho en común con los equipos de comunicaciones. De hecho, los sistemas de telemetría son un caso especial de los sistemas de comunicaciones. Uno de los tipos más comunes de transductores es el que genera señales eléctricas como función de una cantidad física variable. Estas señales eléctricas pueden ser transmitidas por alambre directamente a un centro de control, de visualización o de análisis de datos para su evaluación. Como se ha mencionado, la dificultad de usar alambres en muchas aplicaciones ha dado crecimiento a la telemetría inalámbrica. La señal comúnmente es muy pequeña por lo que puede ser amplificada antes de pasar al segundo subsistema que llamamos de multiplexión. Los sistemas de multiplexaje son utilizados solo cuando se tienen varias señales y se quieren enviar estas por el mismo canal y no son exclusivos de los sistemas de radiotelegrafía. A las señales obtenidas desde varios sistemas colectores de datos y colocadas en diferentes contenidos de frecuencia se le llama multiplexaje por división de frecuencia (FDM). Si el sistema de multiplexión separa los datos en el dominio del tiempo, esto es referido como multiplexaje por División de

Tiempo (TDM). Si el sistema consta de ambos subsistemas se obtiene un sistema híbrido. El tercer subsistema es el modulador, transmisor y antena. El siguiente bloque es el canal de comunicación, que generalmente es el aire. La portadora modulada es radiada hacia el medio. El quinto subsistema es la antena de recepción, amplificadores de radiofrecuencia (RF), amplificadores de frecuencia intermedia (IF) y el demodulador de frecuencia. En la antena se recibe la señal portadora modulada y es enviada hacia el receptor donde la señal es amplificada en los amplificadores de radiofrecuencia y los de frecuencia intermedia. Para recuperar los datos de la señal portadora esta es demodulada con la detección de portadora, a este tipo de receptor se le conoce como superheterodino. La demultiplexión es el siguiente subsistema; en este punto los datos son separados por técnicas de TDM, FDM o ambas, de esta manera se recupera la información de cada sensor, Una vez obtenidos los datos de varios sensores, estos se encuentran listos para procesarse y ser mostrados.

Las principales clasificaciones de los sistemas de radiotelemetría son de acuerdo a los métodos de multiplexaje y a los métodos de modulación empleados; ambas categorías, junto con las antenas, se analizan en el siguiente capítulo. Como se mencionó, los sistemas de radiotelemetría son muy usados y por consiguiente una opción muy importante para el diseñador; también se observó que presentan características particulares como la modulación de portadoras y subportadoras (en algunos casos como FM/FM) y el uso de antenas.

## 2.3 SISTEMAS DE BIOTELEMETRÍA<sup>10</sup>

En esta sección se detallan las varias clases de operación de los sistemas de biotelemedría, se mencionan algunos progresos y se analizan los usos resultantes. La biotelemedría significa la obtención información de variables biológicas a distancia. Los biólogos, zoólogos, fisiólogos y practicantes médicos han usado los sistemas de telemetría para medir casi cualquier parámetro de interés. Esta rama de la telemetría ha tenido increíbles avances en los últimos años. Los avances tecnológicos que involucran un creciente uso de técnica de circuitos integrados, empaquetamiento mejorado, métodos avanzados de construcción y de procesamiento de datos han permitido que se hagan un número cada vez mayor de medidas biológicas sin las restricciones de alambres o interferencias con la función fisiológica.

Conforme sigan mejorando los sistemas de biotelemedría serán cada vez más usados en investigaciones que involucren el estudio de seres vivos incluyendo humanos en circunstancias de reposo y de vigilia. La biotelemedría tiene una especial atención en las mediciones realizadas en animales o en hombres. Mucho de esto ha sido posible desde los años 50 debido a la miniaturización y la operación por medio de baterías, hechos posibles a su vez por la invención del transistor. Aún más, las fuentes de poder han cambiado drásticamente con los años y ahora incluyen baterías nucleares, simples baterías carbón-zinc, mercurio o hasta recargables de nickel-cadmio o litio. Por otro lado cristales piezoeléctricos y electrodos corporales. Más recientemente se está usando la inducción pasiva de energía por radiofrecuencia para reemplazar las baterías. El tamaño también se ha reducido constantemente, especialmente para el uso implantado (invasivo). Esta reducción con el propósito de implantes, se ha obtenido al reemplazar componentes discretos por componentes integrados en microminiatura, películas delgadas, montaje superficial y sustitución por partes de estado sólido.

Como a todos los sistemas de telemetría, también a los de biotelemedría se les puede agrupar de distintas maneras siguiendo distintos criterios, esto hace que un sistema pueda pertenecer a más de una categoría. Como ejemplo de algunas de las características de los sistemas de biotelemedría que sirven para clasificarlos tenemos: tipo de transmisión, el uso de métodos invasivos o no invasivos o el tipo de ecosistema entre otros. El análisis de esta sección detallará algunos tipos de los sistemas de biotelemedría y su uso. Para lograr este propósito se describen algunas de las principales categorías. Estas son primero con respecto a la clase de operación, luego con respecto a los criterios de la ingeniería de diseño y finalmente por sus áreas de uso.

Se muestran las varias clases de operación y se describen los modos en que el transmisor puede ser coordinado con relación a los sujetos. El transmisor puede ser fijo o moverse con (sobre o adentro) el sujeto.

- |           |   |
|-----------|---|
| Clase I   | Sujeto distante del transmisor conectado por alambre. Transmisor y receptor fijo.                                     |
| Clase II  | Sujeto distante del transmisor conectado por alambre. Transmisor y receptor fijos pero portátil.                      |
| Clase III | Transmisor sobre el sujeto sin alambres. El transmisor se mueve con respecto al receptor.                             |
| Clase IV  | El transmisor dentro del sujeto, implantado sin alambres. El transmisor se mueve con respecto al receptor.            |
| Clase V   | El transmisor es tragado por el sujeto, sin alambres. El transmisor se mueve en relación con el sujeto y al receptor. |

<sup>10</sup> Cfr. Sandler, Harold "Biotelemetry: its first 50 years", en Biotelemetry III, International Symposium on Biotelemetry 3 Pacific Grove Calif 1976

La mayoría de los sistemas de biotelemetría están compuestos de los bloques de construcción mostrados en la figura 2.3-1. Estos son: sensor, sistemas de comunicación y usuario o receptor.

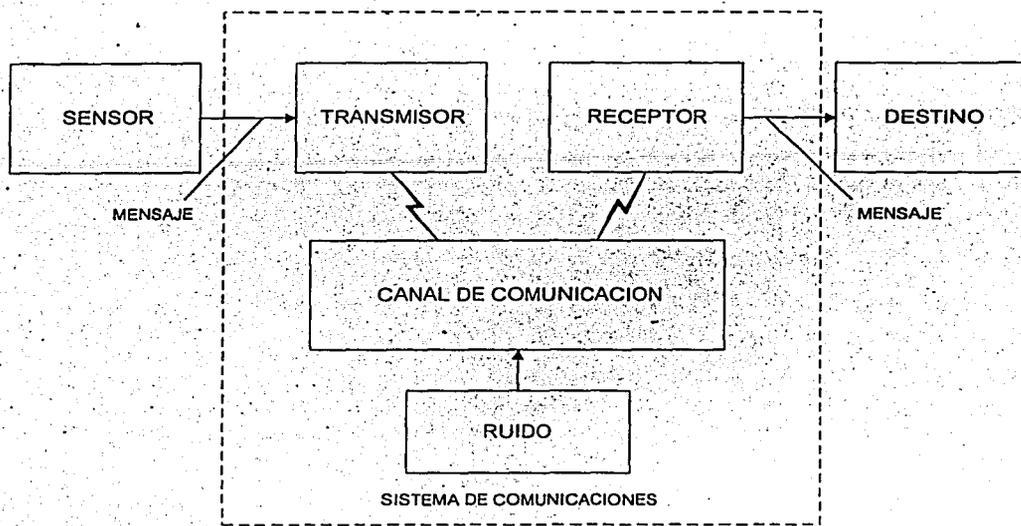


Fig. 2.3-1 Esquema de componentes de un sistema típico de biotelemetría.

Los objetivos de diseño son para permitir un enlace de comunicación que transmita el mensaje que entrega el sensor, tan confiable y precisamente como sea posible, bajo las circunstancias dadas. El ruido está siempre presente como se muestra y el diseño del sistema debe ser dirigido hacia eliminarlo o minimizarlo. Los factores que deben ser considerados cuando diseñamos un sistema de biotelemetría son los mismos que, para sistemas de telemetría, se indican en el capítulo 3. Sin embargo, los sistemas de biotelemetría tienen características particulares que se mencionarán enseguida.

Con respecto a las mediciones, hay que tener presente que el sistema de biotelemetría no debe perturbar la variable medida. Por ejemplo, cuando queremos medir ritmo cardiaco normal de un animal y le colocamos encima circuitos electrónicos y cables, el animal se inquieta y se le modifica el ritmo cardiaco alterando la medición que se pretendía. De aquí que se deba vigilar que el sistema sea lo más compacto y ligero, que no cause irritación ni infección, y que interfiera en la menor medida con el organismo. Para la telemetría implantada hay que tener la asesoría de un cirujano desde la planeación del sistema. Hay que evitar provocar infecciones. Los encapsulados deben ser fabricados con los materiales inocuos adecuados. Es muy importante vigilar estrictamente los encapsulados en casos donde los sistemas se implanten o traguen, de preferencia deben ser de formas regulares, no deben tener filos, puntas y no deben presentar superficies rugosas. No está por demás que los circuitos al interior del encapsulado no presenten irregularidades que puedan dañar al organismo; esto último en previsión de una falla del

encapsulado. Una falla en un encapsulado de una batería puede tener consecuencias fatales por los químicos que la componen.

Los sistemas de biotelemetría pueden ser usados para dos propósitos principales que son: transmisión de información fisiológica y monitoreo ambiental, es decir, la medición con el sujeto en su ambiente natural. La manera en que funciona el sistema se muestra en la figura 2.3-2.

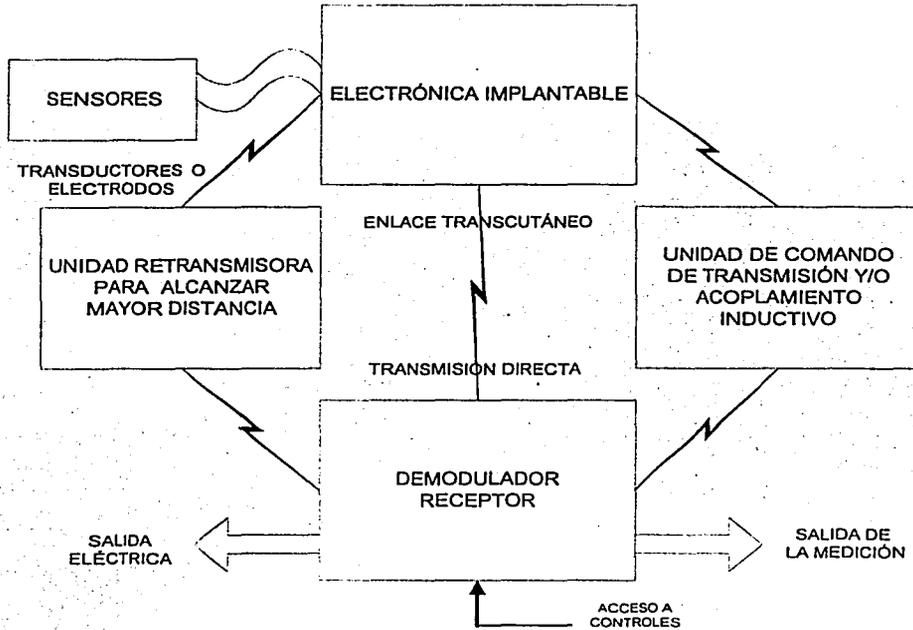


Fig. 2.3-2. Diagrama de sistema de unidades de biotelemetría para monitoreo de humanos o animales.

Los sistemas de biotelemetría se pueden clasificar también de acuerdo al tipo de medición en ambiente natural. Como se ha mencionado la biotelemetría puede medir una variable fisiológica en ambientes naturales o artificiales. Cuando se realiza en ambientes naturales además de los parámetros fisiológicos, es posible hacer mediciones tales como determinación de la posición o interacción social. En la figura 2.3-3 se incluye la forma de transmisión de la señal, la cual puede ser en forma continua, periódica o por petición. Por último se puede observar que la biotelemetría tiene los alcances para realizar este tipo de mediciones en el mar, el aire o en tierra.

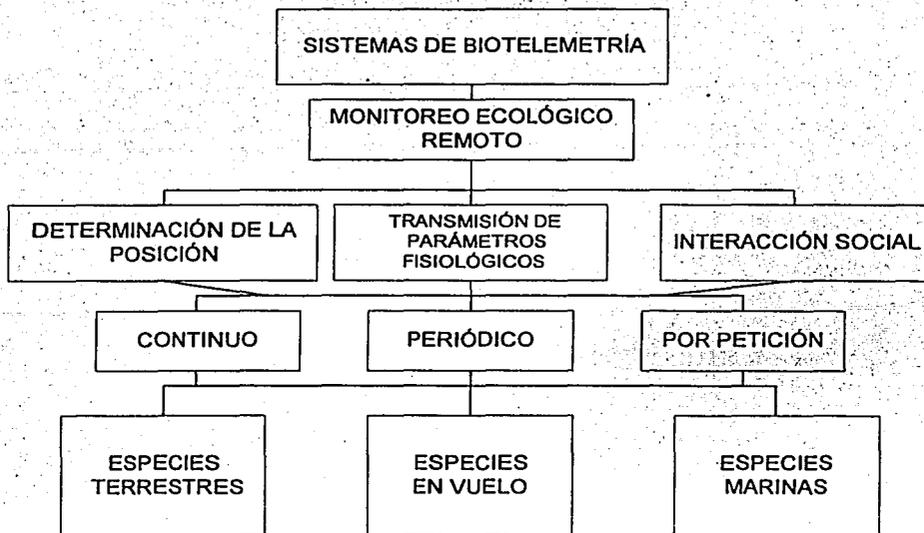


Fig. 2.3-3 Categorías de los sistemas de bioteleetría realizadas en ambiente natural.

Con respecto a la medición de parámetros fisiológicos la transducción puede ser directa, indirecta o transcutánea. La transmisión puede ser directa o conmutada, el sistema puede ser implantado, portátil, ingerible o alambrado y los estudios se pueden realizar en tierra, en ambientes marinos o inclusive aeroespaciales. La figura 2.3-4 ilustra estas categorías

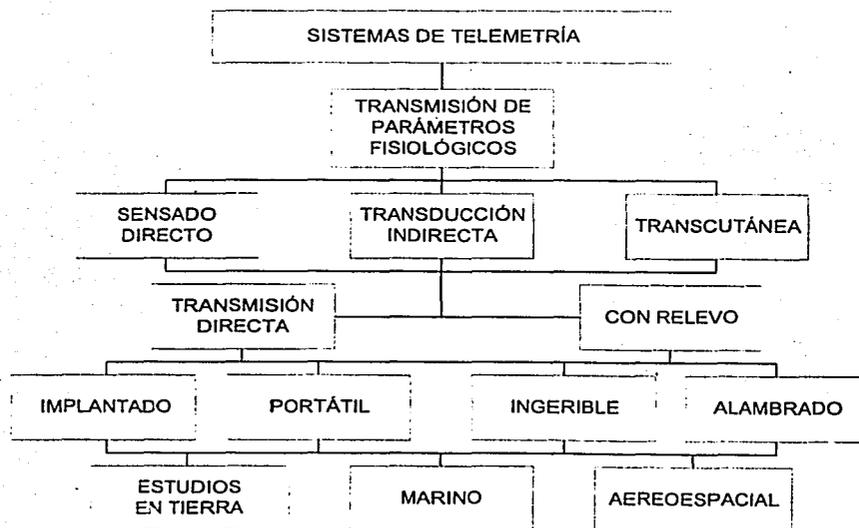


Fig. 2.3-4 Categorías de los sistemas de bioteleetría para realizar medidas de parámetros fisiológicos.

Por mucho, la forma más común de biotelemedicina ha sido a través de la transmisión directa de datos desde unidades llevadas externamente al cuerpo para proveer información durante deportes, trabajo, actividad normal o sueño, examinar la salud de astronautas y la vigilancia de pacientes críticos. Las recientes actividades y desarrollos han sido dirigidas al diseño de implantes o dispositivos tragables (fig. 2.3.5) para dar información o datos adicionales que no proveen los métodos superficiales de monitoreo. Los diagnósticos médicos usando enlaces telemétricos han probado su utilidad y factibilidad en todas sus bondades.

Los progresos sobre esta mitad del siglo han descansado sobre la continua producción de dispositivos más pequeños con diseño de circuitos mejorados. Los desarrollos futuro tendrán una confiabilidad mejorada, decremento de los costos y una mayor estandarización de procesos para uso y manufactura. Este acercamiento traerá como resultado un incremento del número de unidades disponibles para el estudio del hombre en su actividad cotidiana y para el estudio de animales en estado de vigilia sin anestesia. La telemetría implantada como la de la figura 2.3.6, queda como un campo abierto al desarrollo y al incremento de aplicaciones como las pruebas de fármacos o la inducción de estados de enfermedad. Con avances continuos, las pequeñas unidades se usarán en sujetos humanos como partes o controladores de prótesis, como miembros o corazones artificiales o dejados al momento de las cirugías para medir varias variables como señales ECG, presión sanguínea o potenciales cerebrales.



Fig. 2.3.5 Se muestra la alimentación de un delfín con un pescado al que se le fijó un transmisor. El objetivo es medir de forma continua dentro del agua la temperatura interna del delfín.<sup>11</sup>



Figura 2.3.6 Radiografía de cráneo humano con un transmisor para mediciones de temperatura en la superficie del cerebro después de un procedimiento quirúrgico.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Mackay, R.S Bio-Medical Telemetry p.24

<sup>12</sup> *Ibid.* p.152 y 153

## 2.4 EJEMPLOS DE SISTEMAS DE TELEMETRÍA.

A continuación se describen dos usos de sistemas de telemetría para ejemplificar las potencialidades de este tipo de tecnología. En primer lugar tenemos a la telemetría en la telemedicina y después en los equipos de chequeo automático.

### TELEMETRÍA EN TELEMEDICINA<sup>13</sup>

La telemedicina puede ser definida como la aplicación de la tecnología de la comunicación para facilitar la práctica a distancia de la medicina. Es por ello que la telemetría es un área indispensable en el campo de la telemedicina. Las telecomunicaciones médicas no son un fenómeno nuevo. En su forma más amplia, el lenguaje es una forma de telemetría ya que es una forma de entregar información a distancia. En el mar, banderas y luces se siguen utilizando en la actualidad como lo hizo el hombre antiguo con señales de humo para transmitirse información o requerir ayuda. En general, la telemetría se usa en las tres principales áreas de la telemedicina que son:

- Diagnóstico y respaldo de consulta para los practicantes médicos remotos.
- Cuidado médico para los pacientes a sitios distantes.
- La educación médica continua.

Es importante notar que aunque la telemetría médica es una de las partes más importantes de la telemedicina, no es la única área de las comunicaciones que tiene relación con esta, ya que la telemedicina, no siempre requiere hacer una medición a distancia, a veces es suficiente la telepresencia del especialista médico para determinadas necesidades. Desde la invención del teléfono, los que practican la medicina han empleado las comunicaciones electrónicas para facilitar el cuidado del paciente. Con el advenimiento de las redes de computadoras y los modernos sistemas de telemetría, la comunicación de la información clínica dentro de las instituciones y entre instituciones, ha entrado a una nueva era. Una cosa es clara al examinar el desarrollo histórico de las comunicaciones electrónicas en la medicina: hay una tendencia hacia un incremento del volumen y complejidad de la información incrementando con ello la demanda del ancho de banda. Aplicaciones de lo más novedoso como archivos de fotos, telemedicina en video de alta calidad y cirugías telepresenciadas, ponen exigentes requisitos en las tecnologías de comunicaciones y en especial a los sistemas telemétricos. Los cambios rápidos en las tecnologías de comunicaciones y la rápida expansión de la disponibilidad de estas, han tenido un gran efecto en la mayoría de las actividades del mundo y no es la excepción la telemetría. Desde la introducción del teléfono en 1877, las redes globales han crecido a un ritmo acelerado nunca antes visto, al grado de poder hacer una medición en cualquier lugar del planeta y hacerla viajar por estas redes globales para leerla en cualquier lugar del mundo. Hoy en día se disponen de anchos de banda más grandes y de servicios digitales. Es ya una realidad el acceso generalizado a los servicios de telefonía celular y el incremento en el desempeño y capacidad de las líneas fijas, características que resultan en lecturas más precisas y de mejor calidad sin importar la localización en la que el paciente se encuentre.

La aplicación de telecomunicaciones avanzadas, como los sistemas modernos de telemetría en el cuidado médico, siguen en su infancia pues la comunidad médica se está enfrentando con un número de preguntas aún sin resolver como:

- ¿De qué magnitud será el impacto económico en el ahorro del presupuesto del paciente y en el ahorro de los gastos de salud pública derivados de una consulta remota?.

---

<sup>13</sup> Cfr. Prior, Fred "Communication Technology for telemedicine", en Proceedings of National Forum '95 IEEE

- ¿Requerirá la telemedicina una reorganización de los procesos técnicos y administrativos que hasta ahora se conocían?

- Las investigaciones en telemedicina y los programas experimentales, ¿han mejorado la calidad de la práctica médica en las áreas rurales principalmente?

La telemetría, como auxiliar de la telemedicina, sostiene la promesa de mejorar el cuidado médico a distancias remotas alrededor del mundo. Ya existe la tecnología para soportar un gran número de actividades involucradas en la telemedicina. Sin embargo, la tarea es mejorar la relación costos efectividad de la tecnología existente. Se debe realizar un trabajo adicional para probar la eficacia de las consultas telemédicas en términos de los impactos económicos en el bolsillo del paciente y los presupuestos públicos destinados al cuidado de la salud.

La telemedicina empezó con la aplicación de la tecnología de video analógica (circuito cerrado de televisión) a principios de los 60's. Los recientes avances en las redes digitales de computadoras han dejado un interés en los usos del video digital, exámenes físicos remotos y telerradiología. Hasta la fecha, la mayoría de los proyectos de telemedicina se han enfocado en un ancho de banda pequeño y por consecuencia, en aplicaciones de video de baja calidad. Queda claro que cada especialidad y subespecialidad médica tiene sus propios requerimientos particulares de telemetría así como de software especializado y de mayores anchos de banda de acuerdo a las necesidades. La aplicación predominante es la video conferencia, pero el transporte de imágenes, sensores remotos, y acceso a un expediente clínico electrónico son también muy importantes.

Un extensivo y rápido crecimiento de la infraestructura en comunicaciones alámbricas e inalámbricas son la base de las aplicaciones de la telemetría médica dentro de la telemedicina. La selección de qué tipo de servicio dependerá del costo, la disponibilidad y de las características específicas de cada aplicación como la movilidad, seguridad, consumo de energía, resistencia del equipo, etc. Por ejemplo, con la llegada de la telefonía celular, este tipo de equipo puede ser usado como el canal de transmisión de un sistema de telemetría, y servir para enviar tanto los signos vitales de un paciente en una ciudad (fig. 2.3-7), como los de un soldado en campo de batalla. Los protocolos de red son la parte que permite la unión entre las aplicaciones y la infraestructura de comunicaciones. No cabe duda que en los siguientes años conforme sigan evolucionando los sistemas y las tecnologías de comunicaciones, una de las actividades donde más se usará la telemetría es la telemedicina.



Fig. 2.3-7 Flujo de información en un enlace de telemedicina básico.

## TELEMETRÍA EN EQUIPO DE CHEQUEO AUTOMÁTICO.<sup>14</sup>

Los equipos de chequeo automático son un tipo especial y muy importante de sistemas de telemetría. Este tipo de equipo se puede usar en la industria o en el ámbito militar. Uno de los aspectos más difíciles del diseño de equipos de chequeo automático es la transferencia de información. En el chequeo de sistemas complicados de misiles o de vehículos espaciales, se deben establecer las condiciones en el sistema y medir los efectos de estas condiciones sobre el sistema. En algunos casos se ven involucradas un gran número de conexiones hacia y desde diferentes partes del sistema. Por condiciones de seguridad, muchas veces los sistemas se encuentran lejos del equipo de chequeo automático. Es esta parte del problema la que requiere de la telemetría. En esta sección analizaremos algunos puntos del diseño del equipo automático de chequeo.

Las instituciones generalmente carecen del suficiente personal capacitado que mantenga los sistemas listos. Algunos sistemas son tan complicados que aún habiendo personal calificado suficiente, sería difícil y a veces imposible efectuar un mantenimiento dentro de los tiempos disponibles; esto debido a que los sistemas se conforman de varios subsistemas y de componentes tales que si alguno de ellos llegara a fallar, determinar la causa de la falla y repararla consumirá un periodo de tiempo considerable. Si agregamos que durante este tiempo dos o más fallas pueden ocurrir, esto traerá como consecuencia que el sistema nunca llegue a estar listo para su operación exitosa. En algunos sistemas, como los que controlan el disparo de misiles, el tiempo es un factor crítico, ya que se dispone de lo que dura un conteo manual para evaluar si los sistemas están sin fallas antes de disparar. Por este y otros usos, el empleo de sistemas de chequeo automático se ha expandido tanto.

Los equipos de chequeo automático proporcionan una combinación entre los conocimientos y la velocidad necesaria para hacer una supervisión rápida en comparación con los métodos manuales. Por ejemplo, en algunos casos 8 horas de supervisión manual se reduce a unos cuantos minutos usando el equipo de chequeo automático. Dicho equipo puede ser de diversas formas y aplicarse a distintos problemas. Por muchos años, la principal aplicación de este equipo ha sido en misiles y cohetes. En el campo de los sistemas de armamento se pueden observar dos grandes áreas: a) el equipo de batalla y b) las reparaciones militares. El equipo de batalla en el frente involucra misiles, naves aéreas, radares, sistemas de comunicación y cualquier otro sistema de armamento. Aquí el propósito del chequeo automático es determinar si los sistemas están listos y preparados; esto ocurre en periodos de tiempo muy cortos frecuentemente justo antes de la operación del arma. En este uso se determina si el sistema está preparado para operar adecuadamente. Si el equipo de batalla no está operacionalmente listo el sistema de chequeo automático determina, por bloques, que conexiones o módulos tienen que ser reemplazados. Por otra parte, en las reparaciones militares, el objeto del chequeo automático es analizar bloques y partes de sistemas que han sido regresados a una central de reparación para su compostura, se detecta la naturaleza de la falla del bloque analizado para que se le realice la reparación adecuada. En ambas aplicaciones militares el equipo de chequeo automático desempeña la tarea con precisión y rapidez. Estas dos características están dentro del equipo por lo que debe poder ser operado por personal no calificado. Por otra parte, hasta los técnicos más experimentados no trabajan efectivamente bajo mucha presión como sucede en los frentes de batalla. Como consecuencia aún si se tuviera tiempo y mano de obra preparada, probablemente no serían efectivos bajo las presiones de la batalla, especialmente en reparaciones de equipos complejos y sin contar con el equipo de chequeo automático.

Existe un área de aplicación del equipo de chequeo automático en sistemas comerciales. Desde finales de 1800 se tienen registrados sistemas para determinar fallas en máquinas de escribir. En la actualidad prevalecen métodos electrónicos y se pueden verificar cables, circuitos, voltajes, etc. Incluso se puede verificar en condiciones dinámicas como las que simulan aquellas

<sup>14</sup> Cfr. Gaffney, John Jr. et al. "Capítulo 11: Data-Handling Equipment" en Handbook of Telemetry and Remote Control Gruenberg, Elliot L editor en jefe p. 11-56

en las que finalmente el sistema bajo prueba va a operar. Las aerolíneas comerciales cuentan con equipo de chequeo automático en sus naves, lo que evita accidentes fatales y pérdidas millonarias.

El equipo de chequeo automático provee un ambiente artificial para el sistema con generadores y simuladores de señales. Además controla la operación del equipo en este ambiente artificial. Bajo estas condiciones, el equipo de chequeo automático hace ciertas mediciones y las compara con el desempeño esperado del sistema. De esta manera, determina si el sistema está o no funcionando adecuadamente. Aún más, al inyectar señales a lo largo del sistema o por medir resultados en diferentes puntos en el sistema, el equipo puede detectar áreas con un mal funcionamiento localizadas entre los puntos de medición para entonces localizar el dispositivo en mal estado. Generalmente se usan en este tipo de sistema, unidades reemplazables, las cuales son bloques del sistema que en caso de falla se pueden sustituir por otro en buen estado durante la operación. Por ejemplo durante un combate. Como ya se ha indicado, la necesidad del equipo de chequeo automático es para combinar las capacidades y conocimiento del personal calificado en un sistema automático de alta velocidad que informe y diagnostique el estado de un sistema. Es de gran importancia para la telemetría porque estos sistemas generalmente implican la realización de mediciones remotas.

A grandes rasgos, el sistema de chequeo automático provee un ambiente artificial para la operación del equipo con generadores de señales y señales simuladas para posteriormente encargarse del control de la operación del sistema bajo prueba en dicho ambiente artificial (fig. 2.3-8). En estas circunstancias el equipo de chequeo hace ciertas mediciones y las compara con el desempeño esperado del equipo para de esta manera determinar si el sistema funciona adecuadamente. Además, al inyectar señales a lo largo del sistema o midiendo los resultados en varios puntos de prueba el equipo puede determinar las áreas defectuosas entre puntos de prueba y así identificar unidades descompuestas. Estas unidades en general son bloques fácilmente reemplazables que permiten mantener la correcta operación del equipo en momentos críticos. Como se ha explicado, este tipo de sistemas son un tipo especial de sistemas de telemetría donde se ocupan las ventajas de hacer múltiples mediciones a distancia.

En el siguiente capítulo se exponen los aspectos a considerar en el diseño y análisis de los sistemas de telemetría.

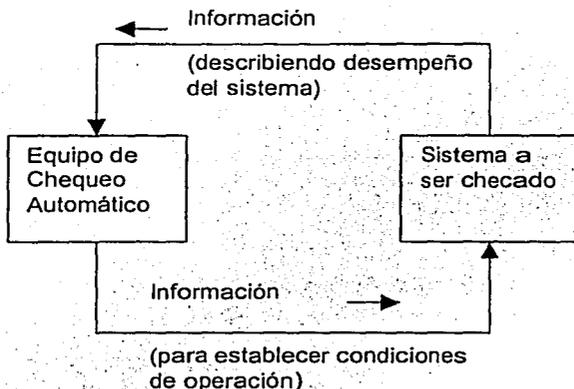


Figura 2.3-8. Flujo de Información en un sistema de chequeo automático.

## CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

En este capítulo se muestran los principales aspectos a considerar en el diseño y el análisis de los sistemas de telemetría (Figura 3.1).

Una vez teniendo especificadas las condiciones con las que el sistema debe cumplir, en general el proceso de diseño de un sistema de telemetría consiste en escoger entre las varias opciones que pueden satisfacer estas condiciones. También hay que tener en mente que la selección del mejor sistema, siempre representa un compromiso entre los diferentes factores que están involucrados. A manera de ejemplo, si pensamos en transmitir cierta cantidad de información con determinada velocidad y deseamos hacer realidad este sistema, nos vamos a encontrar que el número de opciones para lograr esta transmisión de manera eficiente se reduce considerablemente; es entonces cuando ya podemos considerar otros factores que influyen en un diseño exitoso.

A manera de ilustrar algunos de estos factores tenemos:

### ▪ Transductores.

¿Son los transductores adecuados para las variables a medir? ¿Es el sistema adecuado para los transductores seleccionados?

### ▪ El enlace.

¿Permite la trayectoria y la configuración en los puntos transmisor y receptor la transmisión adecuada sin atenuación o ruido excesivo?

### ▪ Tamaño, peso, volumen y forma.

¿Puede operar satisfactoriamente el sistema en el espacio, volumen, forma y peso disponible?

### ▪ Requisitos de potencia.

¿Se tiene el suministro adecuado de energía para el sistema?

### ▪ El ambiente.

¿El equipo seleccionado puede operar en las condiciones ambientales existentes durante el tiempo necesario?

### ▪ Eficiencia.

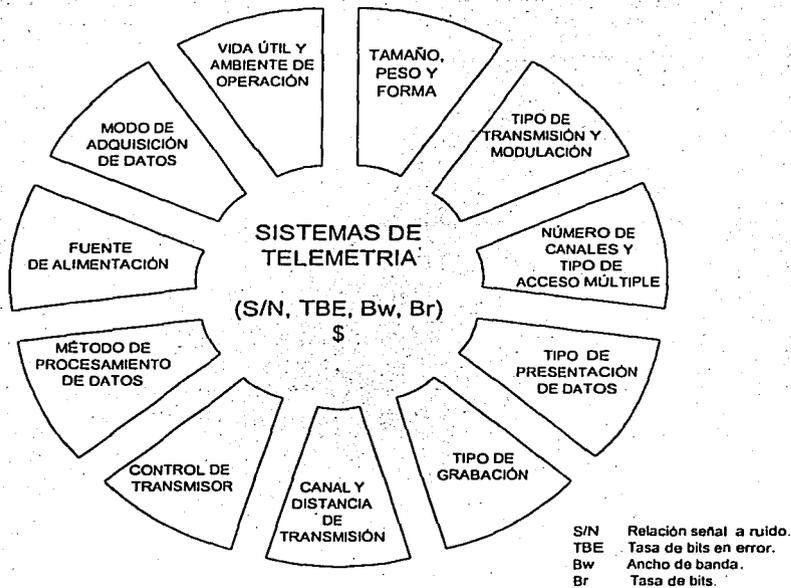
¿Con qué eficiencia se hace uso del canal, de los factores dimensionales o de la potencia suministrada?

### ▪ Estándares.

Ya que la experiencia dice que la clave de la compatibilidad entre los sistemas es la estandarización, ¿Cumple el diseño con estándares y normas?

A continuación se analizan cada uno de los factores a considerar en el diseño de sistema de telemetría.

Fig 3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE TELEMETRÍA



### 3.1 ADQUISICION DE DATOS<sup>15 16 17 18</sup>

Un sistema colector de datos (sensor) consta de los dos elementos siguientes:

**a) Transductores**

Para la transformación de parámetros físicos en señales eléctricas, generalmente.

**b) Acondicionadores de señales.**

Para su amplificación, modificación o selección de ciertas partes de la señal.

El sistema colector de datos, consta de dos etapas. Primero existe un elemento transductor, en el que se origina una salida, por ejemplo de tipo eléctrico. La siguiente etapa, consiste de los circuitos eléctricos para el acondicionamiento y procesamiento de las señales, y puede encapsularse integralmente con el transductor, para formar el sensor. En los transductores de circuitos integrados de estado sólido, los elementos electrónicos y transductor pueden fabricarse durante las mismas etapas de procesamiento, empleando tecnología de materiales ordinarios como silicio. Una cantidad física se convierte a una señal eléctrica para su transmisión a otro punto. El transductor que convierte una cantidad física a una señal eléctrica puede ser un dispositivo piezoeléctrico, una resistencia variable o quizás un acelerómetro. La información telemétrica requiere no ser menos precisa que la que se obtiene en una medición directa bajo condiciones de laboratorio.

<sup>15</sup> Cfr. Cooper, Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición, cap. 11

<sup>16</sup> Cfr. Jung, Amplificadores operacionales integrados, p.337-359.

<sup>17</sup> Cfr. Mata, Manual de prácticas de transductores y convertidores eléctricos, p. 1-9.

<sup>18</sup> Cfr. Ferro, Instrumentación electrónica, cap. 1

### 3.1.1 TRANSDUCTORES.

El transductor es un elemento que traduce una cantidad física (por ejemplo: presión, velocidad, posición, etc.) a una eléctrica (tensión, corriente o impedancia), por lo que puede entenderse como un convertidor. En la figura 3.1-2 puede verse la ilustración de este concepto.

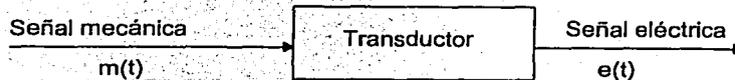


Figura 3.1-2. Ilustración de un transductor.

[Fuente: Mata, et. al. Transductores y convertidores eléctricos]

Para elegir un transductor, se deben tomar en cuenta su precisión, exactitud, resolución, etc. estas características son explicadas en el capítulo 3.1.1.2.

#### 3.1.1.2 CLASIFICACION DE TRANSDUCTORES

Los transductores pueden clasificarse de acuerdo a su aplicación, método de conversión de energía, naturaleza de la señal de salida, etc. Las clasificaciones casi siempre tienen áreas que se superponen.

##### -Alimentación

Atendiendo al tipo de alimentación los transductores se pueden clasificar en:

- **Pasivos:** La acción del mesurando produce un cambio en un elemento pasivo de un circuito eléctrico, resistencia, inductancia o capacitancia. Requieren una fuente eléctrica externa para su alimentación.
- **Activos:** Generan un voltaje de salida por sí mismos. No requieren de una fuente.

##### -Tipo de salida

- **Análogos:** Tienen una salida analógica, que es función continua del mesurando, excepto por la modificación debida a la resolución del transductor.
- **Digitales:** Generan una salida analógica pulsátil, es decir una secuencia de pulsos proporcional al mesurando. Los transductores inductivos y capacitivos se emplean algunas veces en un circuito que genera una señal de frecuencia variable proporcional al mesurando (frecuencia modulada). Estas señales analógicas pulsátil y de frecuencia se convierten con facilidad en señales digitales por conteo de los pulsos o ciclos y almacenando la cuenta.

##### - Propiedad física empleada.

Atendiendo a la propiedad física cuya variación produce la excitación los transductores se pueden clasificar en:

- Transductores basados en la variación de resistencia eléctrica, que incluyen los potenciómetros, las bandas extensiométricas, las termoresistencias y los termistores.
- Transductores basados en la variación de inductancia, bien sea por cambio en la reluctancia, por acoplamiento magnético o por modificación de la permeabilidad por tensión mecánica (efecto magnetoelástico o magnetostricción).
- Transductores basados en la variación de capacitancia, ya sea por la modificación de las dimensiones de un condensador o por las propiedades dieléctricas del medio interpuesto entre armaduras (acelerómetros capacitivos y micrófonos de condensador).
- Los termopares basados en los efectos Seebeck, Peltier y Thomson, producen una tensión en un circuito que contiene dos conductores, dos uniones a diferentes temperaturas (efecto termoeléctrico).
- Elementos basados en el efecto piezoeléctrico que suelen ser cristales de cuarzo que sometidos a tensiones mecánicas provocan una tensión electrostática entre sus caras.
- Transductores especiales, que incluyen efectos no considerados en los casos anteriores, como los de efecto Hall, fotoeléctrico, radiación, etc. La realidad es que prácticamente cualquier fenómeno físico que se conozca puede dar origen a un tipo de transductor más o menos complejo y con mayores o menores aplicaciones.

### **-Magnitud a medir**

Debido a la gran cantidad de aplicaciones de los transductores, se puede establecer otra clasificación según la magnitud a medir. A continuación se exponen algunas de las más frecuentes.

#### **a) Presión**

Es la fuerza que actúa sobre una superficie, y se mide como fuerza por unidad de área. El principio más común de medición de la presión consiste en aplicar una presión a una membrana elástica sólida y detectar la deformación o desplazamiento resultantes. Un diafragma elástico es un ejemplo sencillo de elemento detector para medir una presión relativa. Para mediciones de presión manométrica, un lado del diafragma se expone a la presión atmosférica y el otro lado a la presión del proceso; para mediciones diferenciales, ambos lados se exponen a las presiones del proceso.

#### **b) Intensidad de flujo**

El mesurando denominado gasto, caudal o intensidad de flujo puede ser en realidad una de tres cantidades físicas diferentes:

1. La velocidad lineal (metros por segundo) del fluido en un punto específico (una cantidad vectorial con magnitud y dirección, medida con respecto a una referencia que puede ser estacionaria o móvil).
2. El gasto volumétrico (metros cúbicos por segundo) a través de un área transversal, que es la integral de superficie del gasto lineal sobre el área.
3. El gasto de masa (kilogramos por segundo) a través de un área transversal, que es la integral de superficie de la velocidad multiplicada por la densidad. En algunos casos el flujo por medir no se encuentra confinado, por ejemplo en el caso de la velocidad del viento. En la mayor parte de los casos el flujo esta confinado, ya sea por canales abiertos (ríos y tuberías parcialmente llenas, con una frontera de líquido libre) o canales cerrados (tuberías llenas), y el caudal por medir es unidireccional, a lo largo del eje del canal.

### c) Ph

La concentración de iones de Hidrógeno suele definirse mediante la medida logarítmica pH (potencial de hidrogeniones) de la siguiente manera:

$$Ph = \log(1/CH^+) \quad \text{ec. 3.1}$$

donde

Ph: es potencial de iones de hidrogeno.

$CH^+$ : cantidad de iones de hidrogeno.

La membrana sensible del electrodo ordinario de pH está hecha de vidrio poroso. Se ha descubierto que la membrana de vidrio es un transductor específico de iones  $H^+$  casi perfecto.

### d) De Posición

Corresponde a los transductores de desplazamiento mecánico. Desplazamiento se define como el cambio en la posición de un cuerpo o punto con respecto a un punto de referencia. Consiste esencialmente de una bobina móvil suspendida en el campo magnético de un imán permanente. Se genera un voltaje por el movimiento de la bobina en el campo. La salida es proporcional a la velocidad de la bobina y este tipo de detector se utiliza para la medición de velocidades desarrolladas en una forma lineal, sinusoidal o al azar.

### e) Acelerómetros

Se emplean para medir la aceleración, así como impactos y vibración. El elemento detector consta de una masa elásticamente restringida, denominada masa sísmica. El acelerómetro sísmico puede representarse por medio de un dual eléctrico, en el que se emplea el método de movilidad (es decir, velocidad corresponde a voltaje y fuerza corresponde a corriente).

### g) Temperatura

Los detectores resistencia-temperatura o termómetros de resistencia, emplean un elemento sensible de alambre de platino, cobre o níquel extremadamente puros que suministra un valor de resistencia definido para cada temperatura dentro de su rango. La relación entre temperatura y resistencia de conductores en el rango de temperatura cerca de  $0^\circ \text{C}$  se puede calcular de la siguiente ecuación:

$$R_t = R_{ref}(1 + \rho dt) \quad \text{ec. 3.2}$$

Donde  $R_t$  = resistencia del conductor a la temperatura  $t$  ( $^\circ\text{C}$ ).

$R_{ref}$  = Resistencia a la temperatura de referencia, normalmente  $0$ .

$\rho$  = Coeficiente de temperatura de la resistencia.

$dt$  = diferencia entre la temperatura de referencia y la de operación.

## OTROS TIPOS DE TRANSDUCTORES

La realidad es que prácticamente cualquier fenómeno físico que se conozca puede dar origen a un tipo de transductor más o menos complejo y con mayores o menores aplicaciones. Por lo que solo nos limitaremos a mencionar algunos otros tipos:

- Magnetostrictivos.
- Para cantidades ópticas e infrarrojas.
- Para radiación nuclear.
- De densidad.
- De viscosidad.
- De nivel de capacitancia.
- De presión acústica.

### 3.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSDUCTORES.

Cuando se trabaja con transductores, para poder extraer las mejores y más precisas conclusiones acerca de los resultados, es necesario conocer sus principales características. A la hora de estudiar las características de los transductores, es necesaria hacer una primera clasificación en función de su variación con el tiempo. Así, se tienen características estáticas y dinámicas.

#### 3.1.1.2.1 Características estáticas:

En este apartado se estudian las características estáticas, es decir, las relaciones que pueden ocurrir entre la salida y la entrada del transductor, cuando la entrada es constante o varía lentamente.

##### - Gama.

Expresa los valores extremos de la variable a medir. Hay una gama de entrada (referido a la señal mecánica) y otra de salida (referido a la señal eléctrica) (fig. 3.1-2.). En ocasiones se denomina alcance. Como ejemplo puede ponerse un transductor de carga con una gama en la señal mecánica de 0 a 10 N y en la eléctrica de 4 a 20 mA.

##### - Alcance (Span).

Expresa la variación máxima tanto en la entrada como en la salida. Así, se tiene como alcance de salida la diferencia entre la máxima salida eléctrica y la mínima, y como alcance de entrada la diferencia entre la máxima entrada mecánica y la mínima. En el ejemplo anterior del transductor de carga se hablaría de un alcance de 10 N en la señal mecánica y de 16 mA en la señal eléctrica.

##### - Curva de calibración.

Se trata de una característica fundamental, pues permite conocer la relación, punto a punto, entre la salida y la entrada. En una calibración, se aplican a la entrada del transductor una variable de magnitud conocida registrándose las lecturas correspondientes y graficándolas. En ocasiones a esta curva se la denomina respuesta en amplitud, y es evidente que debe ser obtenida experimentalmente para cada transductor. En el ejemplo anterior, es el valor de corriente correspondiente a cada valor de fuerza.

**- Sensibilidad.**

Expresa la relación existente entre la variación de la entrada y la variación de la salida. Se trata, pues, de la pendiente de la curva de calibración. Para un transductor ideal sería una constante.

**- Resolución y umbral.**

Algunos elementos se caracterizan por una salida que crece en una serie de escalones o saltos discretos en respuesta ante un aumento continuo de la entrada. La resolución se define como el mayor cambio que puede darse en la entrada (señal mecánica) sin que se produzca cambio en la salida (señal eléctrica). Otro concepto que habitualmente se confunde con el de resolución es el de umbral. Se define el umbral como el valor mínimo a partir del cual el transductor genera una señal estable. Se puede expresar de un modo relativo mediante dos parámetros importantes:

a) Relación señal / ruido: 
$$\frac{S}{R} = 20 \log \frac{e_1}{e_0} \quad (\text{dB}) \quad \text{ec. 3.3}$$

b) Margen dinámico:

$$M_D = 20 \log \frac{e_1 - e_c}{\Delta e} \quad \text{ec. 3.4}$$

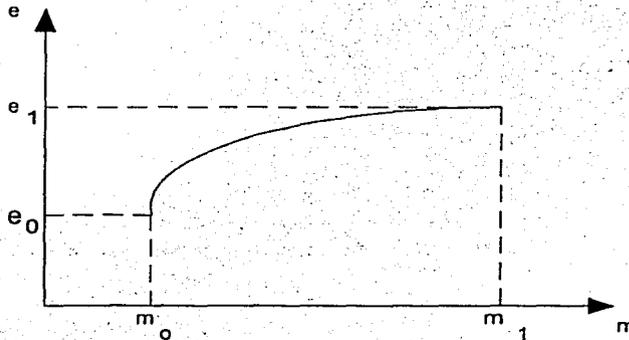
donde

$\Delta e$  es la resolución

$e_0$  valor mínimo de entrada

$e_1$  valor máximo de entrada

En la figura 3.1-3 se da una curva de calibración sobre la que se han marcado las características estáticas definidas hasta ahora.



Gama de la entrada:  $m_0$  a  $m_1$

Gama de la salida:  $e_0$  a  $e_1$

Alcance en la entrada:  $m_0 - m_1$

Alcance en la salida:  $e_0 - e_1$

Sensibilidad:  $\Delta e / \Delta m$

Umbral:  $m_0$

**Figura 3.1-3 Curva de calibración [fuente: Bentley, Sistemas de medición]**

**- No linealidad**

Se dice que un elemento es lineal si los valores correspondientes e(entrada) y m(salida) están sobre una línea recta. Concretamente:

$$e - e_{\min} = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{m_{\max} - m_{\min}} (m - m_{\min}) \quad \text{donde:} \quad \text{ec. 3.5}$$

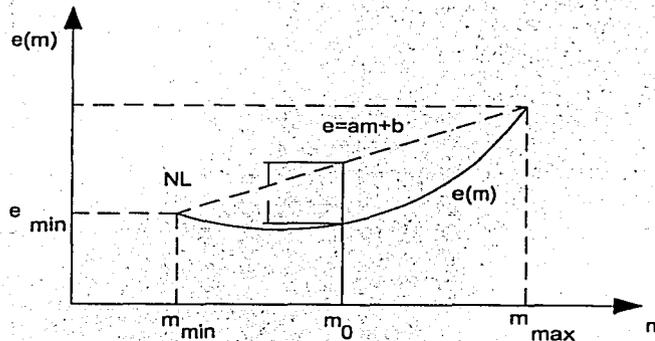
e es la entrada.

m es la salida.

Se dice que un elemento es no lineal cuando no cumple la relación anterior. Como en la realidad todos los elementos son no lineales; es preciso evaluar este hecho de alguna forma. Una forma de medir la no linealidad es empleando una función que expresa la diferencia entre la salida real y la lineal ante una misma entrada, en tanto por ciento:

$$NL(m) = \frac{|e(m) - [am + b]|}{e_{\max} - e_{\min}} \cdot 100 \quad \text{ec. 3.6}$$

donde m es la pendiente de la relación lineal y b la ordenada en el origen de la misma. En la figura 3.1-4 se muestra un ejemplo.



**Figura 3.1-4 - Cálculo gráfico de la no linealidad. [fuente: idem]**

Es frecuente que en lugar de dar la no linealidad como función sólo se dé un número, el cual es el máximo de la misma:

$$\widehat{NL} = \max \{ NL(m) \} \quad \text{ec. 3.7}$$

En la figura 3.1-5 se aprecia esta definición

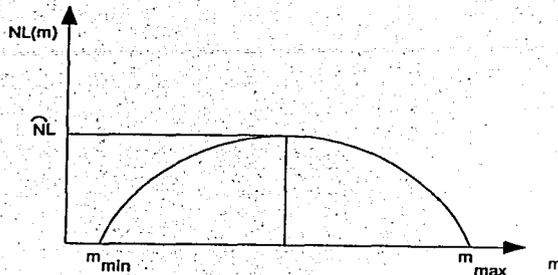


Figura 3.1-5 el máximo de la no linealidad [fuente: ídem]

### - Histéresis

Cuando se realiza la calibración de un transductor es frecuente obtener dos curvas, una para incrementos de la señal mecánica y otra para decrementos de la misma. La histéresis se define a través de una función que es la diferencia de ambas:

$$H(m) = \frac{|e_{\Delta}(m) - e_{\nabla}(m)|}{e_{\max} - e_{\min}} \cdot 100 \quad \text{ec. 3.8}$$

Es frecuente caracterizar la histéresis simplemente por un número que es el máximo de la función anterior:

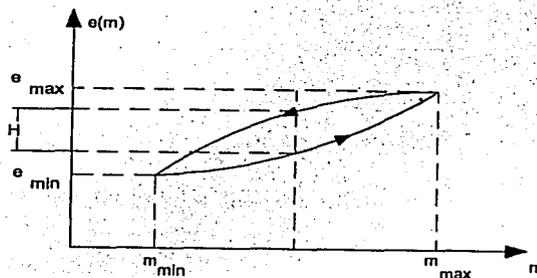


Figura 3.1-6 [fuente: ídem]

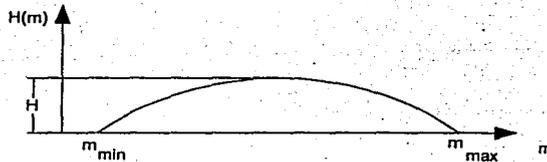


Figura 3.1-7 [Fuente: ídem]

**- Invariancia y deriva**

Se entiende por invariancia la capacidad del transductor para mantener constante su curva de calibración con el paso del tiempo.

Deriva, por el contrario, es cualquier desviación de la citada curva de calibración con el tiempo.

**3.1.1.2.2 Características dinámicas.**

Si la señal de entrada a un elemento se modifica de repente de un valor a otro, la señal de salida no cambia de forma instantánea a su nuevo valor. La manera en que un elemento responde a cambios súbitos de entrada se conoce como características dinámicas del elemento; y éstas se estudian con la herramienta de las funciones de transferencia y transformadas de Laplace y/o Fourier. No obstante, este tratamiento se saldría del ámbito de estos apuntes. Por ello, se van a analizar tan sólo tres conceptos asociados a las variaciones con el tiempo.

**a) Respuesta en frecuencia.**

Consiste en analizar cómo varía la sensibilidad del aparato con la frecuencia de la señal de entrada. Interesa, por razones evidentes, trabajar siempre en la zona plana (sensibilidad independiente de la frecuencia). En la figura 3.1-8 se muestra una curva de respuesta en frecuencia de un transductor.

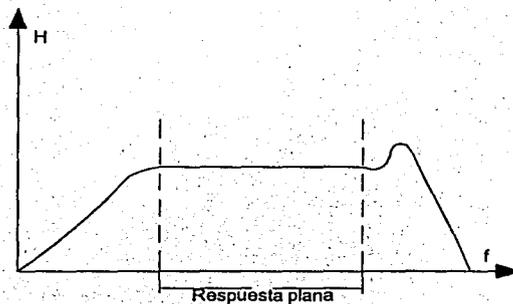


Figura 3.1-8 [Fuente: ídem]

### b) Respuesta de fase.

La salida producida por un transductor puede ir acompañada de un desfase respecto a la entrada. Se denomina respuesta de fase a la variación de ese desfase con la frecuencia. Los problemas vienen cuando se mide una señal periódica no senoidal, es decir, puede descomponerse en muchas armónicas. En estos casos es fundamental que la respuesta en fase sea lineal, es decir:

$$\phi = k \cdot \omega$$

ec. 3.9

donde:  $\phi$  es la fase,  $k$  es una constante y  $\omega$  es la frecuencia fundamental.

### c) Tiempo de establecimiento.

Se define como el tiempo necesario para que la oscilación a la salida se mantenga dentro de un intervalo alrededor del valor final. Normalmente se toman valores del orden del 2-5 %. Si se quisiera tomar el tiempo hasta que la salida se estabiliza totalmente, esto es, tomar el intervalo anterior 0 %, en muchos sistemas el tiempo sería infinito.

## 3.1.2 ACONDICIONADORES DE SEÑAL

El acondicionamiento de señal es una parte fundamental en todo sistema de instrumentación y se encarga de transformar todas las señales eléctricas desde que salen del transductor para ser tratadas y llevadas posteriormente al equipo de visualización o registro. En el caso de transductores pasivos, las variaciones de impedancia del transductor  $Z_T$ , que están ligadas a la variación de la magnitud física medida, se convierten en variaciones de tensión o corriente mediante unos circuitos eléctricos especiales que corresponden generalmente a redes potenciométricas y redes de puentes y que se denominan "redes acondicionadoras". Las redes acondicionadoras deben diseñarse de un modo adecuado para obtener una alta sensibilidad y linealidad con la magnitud física que miden, evitándose los errores que puedan producirse como resultado de desequilibrios o desajustes de la fuente de alimentación y compensando las influencias que pueden introducir las variaciones de temperatura, humedad y otras acciones externas al elemento sensor y que pueden alterar su medida. El transductor y la red acondicionadora son la fuente de señal del sistema de medida. Las operaciones de manipulación que se ejercen sobre la señal eléctrica del transductor se conocen con el nombre de acondicionamiento de señal, y en él se incluye lo necesario para adaptar la fuente de la señal al sistema de medida, la linealización de la señal, su amplificación para aumentar la relación señal / ruido, el filtrado, la integración o diferenciación, la suma o resta de señales, etc.

### - Filtrado

Cuando se realiza una medida mediante transductores es frecuente que la señal eléctrica obtenida presente ciertas alteraciones con respecto a la señal mecánica original, debido a la presencia de interferencias debidas a la red, radiofrecuencias, etc. Aunado a las interferencias se adiciona el ruido. Como dicho ruido suele tener un contenido espectral diferente a la señal deseada, una posible técnica de eliminarlo es recurriendo al filtrado en frecuencias, que consiste en seleccionar cierta banda de frecuencias, eliminando los armónicos no correspondientes a la señal deseada.

### - Magnitudes y unidades

La ganancia del filtro se expresa en decibelios (dB), viniendo éstos definidos como:

$$A_{dB} = 20 \log \frac{A_{real}}{A_{ref.}} \quad \text{ec. 3.10}$$

donde,

$A_{real}$ : magnitud medida.

$A_{ref.}$ : magnitud de referencia.

Por tanto, expresar una magnitud en dB no es más que compararla con una cierta referencia. Por ejemplo, si la amplitud de una tensión a la salida de un filtro es la mitad que a la entrada, se dirá que el filtro ha efectuado una reducción de 6 dB. Las unidades empleadas para las frecuencias también son relativas, siendo habitual hablar de décadas y octavas. Se dice que dos frecuencias,  $f_1$  y  $f_2$  están separadas  $x$  décadas cuando se verifica la siguiente relación:

$$\frac{f_2}{f_1} = 10^x \quad \text{ec. 3.11}$$

Si se toma base 2 en lugar de 10 se habla de octavas:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^x \quad \text{ec. 3.12}$$

### - Integración y derivación

A menudo resultará útil obtener las derivadas o integrales de la señal generada por el transductor, como puede ser el caso de medidas de desplazamiento, velocidad y aceleración. Para conseguir esto existen circuitos integradores y derivadores contruidos basándose en amplificadores operacionales, resistencias, condensadores, si se trabaja con electrónica analógica. Un inconveniente importante del circuito derivador así obtenido, es que produce un pico acentuado de tal modo que se obtiene una amplificación de la señal de ruido que lleve incorporada la señal de entrada; es más, se produce incluso una amplificación del propio ruido interno del amplificador operacional. Si se trabaja con electrónica digital, para esta función de integración / derivación también existen los circuitos necesarios. Como ejemplo se muestra en la figura 3.1-9 un circuito diferenciador y otro integrador, realizados mediante amplificadores operacionales, cuyas funciones de transferencia son:

Integrador: 
$$V_o = \frac{-1}{RC} \int V_i dt \quad \text{ec. 3.13}$$

Derivador: 
$$V_o = -RC \frac{dV_i}{dt} \quad \text{ec. 3.14}$$

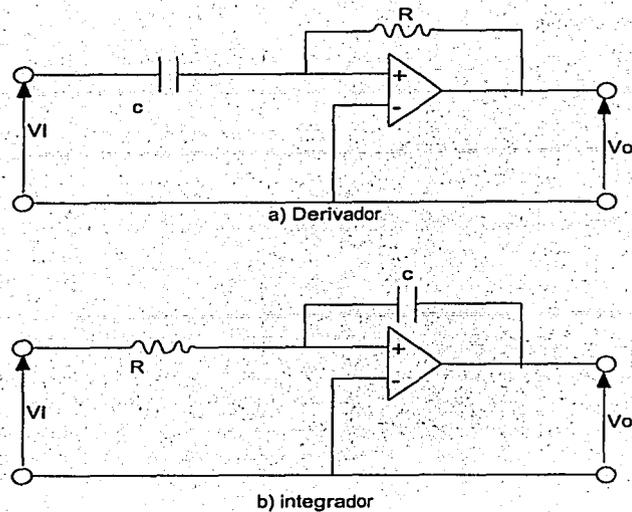


Figura 3.1-9. Circuitos integrador y derivador. [Fuente: Boylestad, *Electrónica Teoría de Circuitos*].

### 3.2 TÉCNICAS DE MULTICANALIZACIÓN Y ACCESO MÚLTIPLE. <sup>19 20 21 22</sup>

#### 3.2.1 MULTICANALIZACIÓN.

Las técnicas de multicanalización o multiplexado de canales permiten compartir un medio de comunicación de ancho de banda grande entre varios subcanales de ancho de banda menor. Como puede observarse en la figura 3.2-1 dos terminales se comunican mediante un multiplexor por un lado y por el otro un demultiplexor. Un multiplexor tiene a la entrada canales de usuario y a la salida del multiplexor los canales son enviados por el canal compartido de mayor ancho de banda a los canales de usuario. Con esto se hace un eficiente uso del canal de comunicación. La demultiplexación es la operación inversa del multiplexor, que consiste en separar los canales de usuario.

<sup>19</sup> Cfr. Hioki, *Telecommunications*, cap. 12

<sup>20</sup> Cfr. Stremmer, *Introducción a los sistemas de comunicación*, cap. 5.3

<sup>21</sup> Cfr. Ziemer, *Principios de comunicaciones*, p. 189-185.

<sup>22</sup> Cfr. Cooper, op. cit., cap12-3.

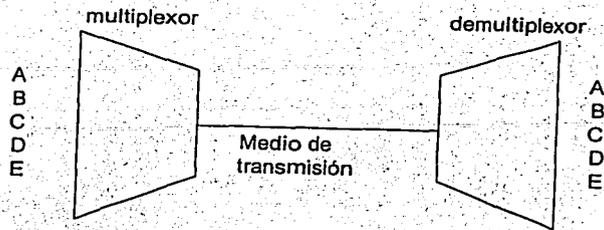


Figura 3.2-1: [Fuente: Stremier, op. cit.]

Entre las técnicas de multiplexado podemos tener, multiplexado por división de frecuencia y multiplexado por división en el tiempo.

#### - Multiplexado por División de Frecuencia (MDF).

El multiplexado por división de frecuencia es usado para agregar (compartir) múltiples canales analógicos de bajo ancho de banda en un solo canal de mayor ancho de banda. Los multiplexores MDF usan filtros electrónicos (circuitos analógicos), que no son precisos por lo que es posible que ocurra alguna superposición de canales adyacentes. Este efecto se constituye en ruido para un canal. Para ilustrar los principios de la MDF, considere transmitir de manera simultánea tres señales, usando modulación DSB (Double Side Band, Doble banda lateral). Ahora se tienen tres señales y cada una con un ancho de banda limitado  $\omega_m$ . Para separarlas en frecuencia cada señal se modula con una frecuencia de portadora distinta  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  y  $\omega_3$ . Las frecuencias de las portadoras se eligen de tal manera que cada densidad espectral esté separadas de las demás. Esto requiere de una separación de frecuencias adyacentes de por lo menos de  $2\omega_m$ . En la figura 3.2-2 (a), (b) y (c) se muestra como las señales se trasladan en frecuencia y se transmiten simultáneamente. Para la demultiplexación en el receptor se consideran dos posibilidades. En la primera, el receptor procesa de manera simultánea los distintos espectros, separándolos en frecuencia con los filtros paso banda, adecuados y después demodulándolos. Gráficamente esto se muestra en la figura 3.2-2(d).

En la práctica, la señal compuesta formada al espaciar varias señales puede, a su vez, modularse usando otra frecuencia portadora. Ahora, para distinguirlas de las primeras frecuencias portadoras como lo son  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  y  $\omega_3$  se llaman subportadoras. La otra posibilidad es hacer que cada receptor seleccione mediante un filtro sólo una de las posibles señales, y después demodule. En la figura 3.2-2(e) se muestra el diagrama del receptor para este caso.

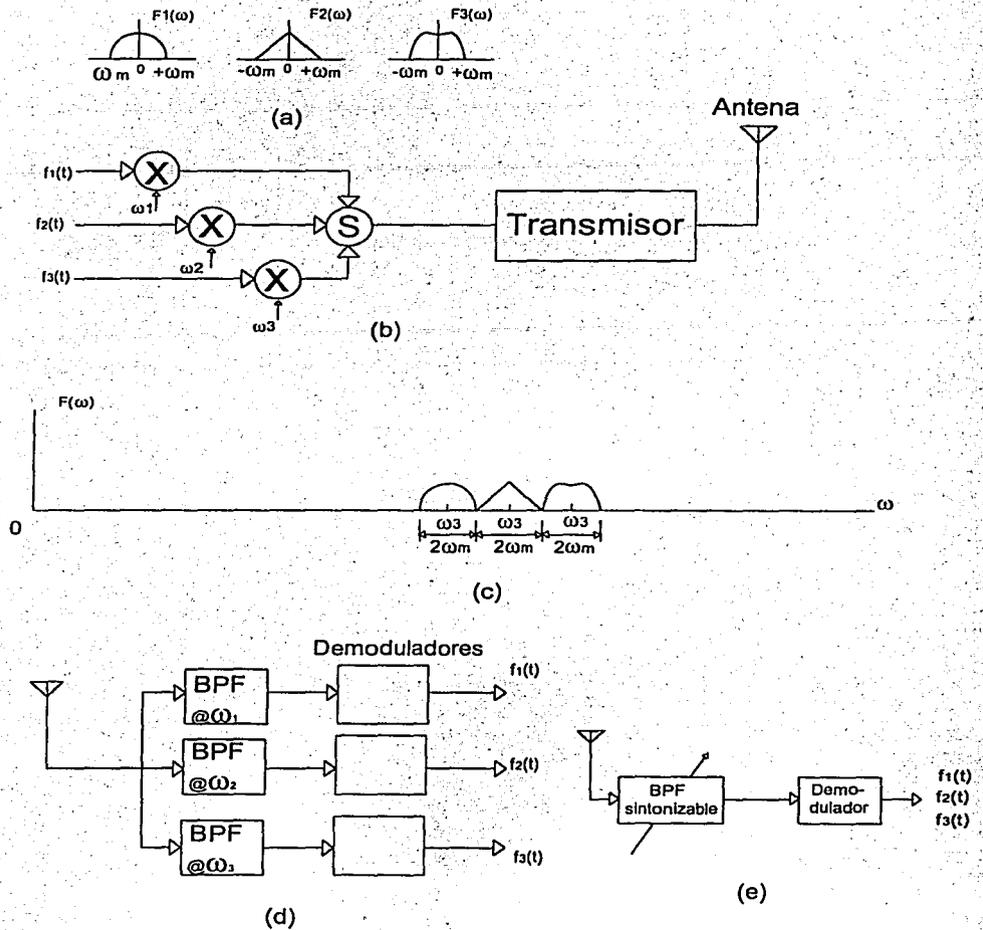


Figura 3.2-2. Multiplexión por división de frecuencia. [Fuente: Stremler, op. cit.]

### - Multiplexado por División de Tiempo (MDT)

El Multiplexado por División de Tiempo fue desarrollado para eliminar el problema del filtrado MDF. Los multiplexores MDT permiten a múltiples usuarios compartir un canal digital usando ranuras de tiempo preasignadas.

La técnica de multiplexado digital por división de tiempo MDT usa a la entrada dispositivos electrónicos denominados codecs que implementan una técnica de conversión de D/A conocida como Modulación de Códigos de Pulsos (Pulse Code Modulation- PCM, (ver capítulo 3.3, p.54). Se comprenderá la multiplexación por división de tiempo si se considera la figura 3.2-3(a). Se hace un muestreo de las fuentes de datos a la frecuencia de Nyquist o más alta. El conmutador (selector de canales) entrelaza las muestras para formar la señal de banda base que aparece en la figura 3.2-3(b). A la salida del canal, la señal de banda base se demultiplexa con el uso de un conmutador. La correcta operación de este



$$n_s = 2BT = \sum_{i=1}^N 2\omega_i T \quad \text{ec. 3.16}$$

finalmente,

$$B = \sum_{i=1}^N \omega_i \quad \text{ec. 3.17}$$

### Comparaciones:

La ventaja básica del sistema FDM es su simplicidad de puesta en operación, sus desventajas son la dificultad de identificación. Las faltas de linealidad conducen a la intermodulación. En los sistemas de FDM el resultado de la intermodulación es la diafonía entre los canales de la banda base. Se evita este problema en los sistemas TDM. Sin embargo, los sistemas TDM tienen sus desventajas inherentes. Se requieren muestreadores y, se requieren datos continuos. Una de las más grandes dificultades con los sistemas TDM es mantener la sincronía entre los conmutadores.

### 3.2.2 - SISTEMAS DE ACCESO MULTIPLE

#### - Acceso múltiple por división de frecuencia. (Frequency Division Multiple Access, FDMA)

En este caso cada usuario tiene un canal de frecuencia asignado para la comunicación, mientras ésta dure. Este canal puede estar permanentemente asignado (como es el caso de los canales satelitales FAMA asignados a las portadoras internacionales) o ser usado transitoriamente por el usuario, (como es el caso de la telefonía celular analógica AMPS). El esquema tiene la ventaja de ser relativamente fácil de implementar y sencillo de administrar, cuando el número de usuarios es relativamente bajo. Las desventajas son muchas: el sistema es relativamente rígido y cada equipo de estar provisto de las componentes necesarias para usar la frecuencia disponible. No es muy eficiente cuando el número de usuarios es elevado, por lo cual no se usa exclusivamente en los sistemas celulares de 2a generación. Tampoco se adapta muy bien a la transmisión de datos.

#### - Acceso múltiple por división de tiempo. (Time Division Multiple Access, TDMA)

En este caso cada usuario tiene asignado un canal durante una ranura de tiempo sobre un intervalo determinado de una banda de frecuencias para su comunicación. Puede ser que se utilice la banda de frecuencias completa para la transmisión, o, simplemente, un intervalo de frecuencias dentro de la banda. Este canal puede estar permanentemente asignado (como es el caso de los canales satelitales asignados a las portadoras internacionales) o ser usado transitoriamente por el usuario, (como es el caso de la telefonía celular).

#### - Espectro extendido (SS, Spread Spectrum).

Es una técnica de banda amplia desarrollada en principio para usos militares que provee comunicaciones seguras, confiables y de misión crítica. La tecnología de Espectro Extendido está diseñada para intercambiar eficiencia en ancho de banda por confiabilidad, integridad y seguridad. Es decir, más ancho de banda es consumida con respecto al caso de la transmisión en banda angosta. Es utilizada principalmente en aplicaciones de comunicación personal y de telefonía celular donde, se requiere capacidad de acceso múltiple para que muchos usuarios compartan una banda de frecuencias, porque no existe un ancho de banda suficiente disponible para asignar un canal de frecuencia permanente a cada usuario. Existen diversas técnicas para expandir el espectro mediante alguna modulación, modulación que desde el punto de vista energético será ineficiente.

### Clasificación de las técnicas digitales para expandir el espectro:

- **Secuencia directa ( pseudoruido ):** Las secuencia del pseudoruido se suma directamente (módulo dos) a la moduladora.

- **Salto de frecuencia ( frequency hopping ):** En cada fracción temporal, la frecuencia es constante, pero cambia en forma discontinua de fracción a fracción. El procedimiento clásico es como sigue: la secuencia de los bits de la fuente se codifica para protegerla contra pérdidas de bits. Luego, a cada bit a transmitir se le anexa  $m-1$  bits producidos por un generador de pseudo ruido. Con este total de  $m$  bits se genera una entrada de frecuencias, mediante un sintetizador de frecuencias digital.

- **Reubicación temporal (time hopping ):** Cada trama de la señal en el canal consta de  $M=2$  intervalos (slots), dentro de cada trama, el intervalo particular que contiene al mensaje original se escoge por medio de un generador de pseudoruido. Si  $T_f$  es la duración de una trama,  $T_f/M$  es la duración de cada intervalo; si durante el tiempo  $T_f$  la fuente transmite  $K$  bits, cada bit del mensaje dura  $t_m = T_f / k$ , y estos han de incluirse en un solo intervalo, por lo que su duración se comprime a  $T_f / (Mk)$  dentro de la trama en un canal. En resumen, la duración de cada bit del mensaje, ya puesto en el canal es  $T_f / (Mk)$ . Ahora bien, al comprimir la ocupación temporal, necesariamente se expande la ocupación en frecuencia.

- **Modulación continua de la frecuencia de la portadora (similar a FM) en general,** se induce un cambio lineal en la frecuencia de la portadora.

### Ventajas del Espectro extendido:

- 1.- Capacidad para esquivar la interferencia intencional.
- 2.- Rechazo de interferencia
- 3.- Capacidad de que múltiples usuarios accedan al medio de manera simultánea. Se aplica el nombre de CDMA (code division multiple access), donde el código es la secuencia de pseudoruido.
- 4.- Protección contra los efectos adversos de la propagación de las ondas de radio por múltiples trayectorias (multipath).
- 5.- Operación encubierta, esto es la comunicación pasa inadvertida a otros.
- 6.- Comunicaciones seguras (privacidad garantizada). Aun cuando se sabe que se esta realizando la comunicación, no puede conocer su contenido.

Las ventajas de las modulaciones de secuencia directa son mejor desempeño contra el ruido y contra las interferencias; es la más fácil de detectar, la mejor discriminación ante la propagación por múltiples trayectorias. Por otro lado, los saltos en frecuencia se pueden programar para evitar ciertas zonas del espectro radioeléctrico.

### 3.3 MODULACIÓN.<sup>23 24 25 26 27</sup>

La técnica principal empleada en los sistemas de comunicaciones, para transmitir información entre dos puntos separados, es la modulación de la señal mediante otra adaptada al medio. La señal de mensaje, es decir, aquella que se desea transmitir, se denomina moduladora:  $m(t)$ . La señal adecuada al canal, que permitirá que se lleve a cabo la transmisión, se denomina portadora:  $c(t)$ . En función de la naturaleza de estas dos señales, distinguimos los siguientes tipos de sistemas de comunicaciones:

- **Sistemas analógicos de portadora analógica.**

Tanto el mensaje como la portadora son señales analógicas. Así, podremos variar diferentes parámetros de la portadora, en función de la señal de mensaje  $m(t)$ , obteniendo los distintos tipos de modulación analógica:

- **modulaciones lineales:** consiste en modificar la amplitud de la portadora. Las distintas técnicas de modulación lineal son AM (*Amplitude Modulation*, o Modulación de Amplitud), DSB (*Double Sided Band*, Doble Banda Lateral), SSB (Single Sided Band, Banda Lateral Unica) y VSB (Vestigial Side Band, banda lateral residual)

- **modulaciones angulares:** se pueden obtener modificando la frecuencia de la portadora (FM o *Frequency Modulation*, modulación en frecuencia), o modificando la fase de la misma (PM o *Phase Modulation*, modulación en fase )

- **Sistemas digitales de portadora analógica**

En estos casos, la señal de mensaje es digital, tomando valores discretos. En función de qué parámetro de la portadora varíe junto con la propia información de la moduladora, tendremos los siguientes tipos de modulación:

- ASK (*Amplitude Shift Keying*, o modulación digital en amplitud)
- FSK (*Frequency Shift Keying*, modulación en frecuencia)
- PSK (*Phase Shift Keying*, o modulación digital en fase)

- **Sistemas analógicos de portadora digital**

Se utiliza como señal portadora un tren de pulsos cuadrados. Se deberá hacer un muestreo de la señal del mensaje a una frecuencia determinada. En estos casos, distinguimos varias modulaciones posibles:

- PAM (Pulse Amplitude Modulation): las distintas muestras de la señal de entrada modifican la amplitud de los pulsos sucesivos de la señal portadora.

- PPM (Pulse Position Modulation): las distintas muestras determinan el instante en que aparecen los pulsos de la señal portadora.

- PDM o PWM (Pulse Duration Modulation, o Pulse Width Modulation): las muestras del mensaje determinan la anchura de los pulsos de onda portadora.

#### 3.3.1 SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORA ANALÓGICA:

##### - Modulación AM.

En el dominio de la frecuencia, la modulación AM consiste en un desplazamiento del espectro de la señal original, a la frecuencia de la portadora. Además, puesto que en el proceso de

<sup>23</sup> Cfr. Stremmer, op. cit., cap. 7

<sup>24</sup> Cfr. Ziemer, op. cit., p. 189-195

<sup>25</sup> Cfr. Couch, Digital and Analog Communication Systems, cap 5.7.

<sup>26</sup> Cfr. Schwartz, Transmisión de información modulación y ruido, cap. 1.

<sup>27</sup> Cfr. Gibson, The Communications Handbook, cap.1.3

modulación se añade un valor de CD para evitar los cruces por cero de la señal, aparecerá en el espectro de la señal modulada un pulso a la frecuencia de la portadora. Una desventaja de esta modulación es su pobre rendimiento energético. Para mantener una relación señal a ruido comparado con otras modulaciones, se debe emitir mucha más potencia, desperdiciada gran parte en el envío de la señal portadora junto con el mensaje.

**- Modulación FM.**

La modulación FM (Frequency Modulation, modulación de frecuencia): es una modulación angular donde se varía la frecuencia de la señal portadora, de forma lineal, en función del mensaje.

Generación de la señal FM.

Los sistemas de generación de FM se agrupan en dos clases:

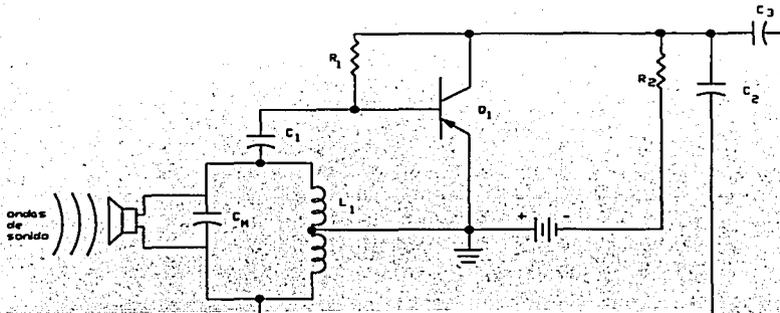
a) **FM directa**, en la que la portadora está modulada en el punto donde se genera, en el oscilador maestro (OM).

b) **FM indirecta**, en la que el OM no modula, pero la modulación se aplica en alguna etapa siguiente.

La frecuencia de una onda puede variarse directamente sólo en el punto donde se está generando esa onda. Esto indicaría al parecer que la frecuencia de una onda sólo podría modularse en el OM. En cierto sentido, es cierto. Pero, la señal moduladora puede cambiar la fase de la corriente o la tensión de la onda portadora después de haber sido generada la portadora; es decir, la portadora puede ser modulada en fase en cualquier punto del transmisor. Entonces esta modulación de fase se transforma fácilmente en modulación de frecuencia, por lo que se puede decir que la modulación de frecuencia se produce indirectamente, y el resultado se denomina FM indirecta. La FM indirecta también puede producirse modulando primero la amplitud de la portadora y después transformando la AM resultante en FM.

**Generación de FM directa.**

En la figura 3.3-4 se muestra un circuito simplificado para la generación de FM directa. Aunque el circuito no es práctico para sistemas de FM comerciales, se utiliza a efecto de demostración porque se entiende fácilmente. En este circuito, un micrófono electrostático se conecta en paralelo con el circuito tanque LC (inductor y capacitor) de un oscilador de RF. Las ondas sonoras aplicadas al micrófono hacen que su capacitancia varíe. Puesto que el micrófono está conectado en paralelo con el circuito tanque del oscilador, la frecuencia de la onda de RF generada por el oscilador también varía (la llamada frecuencia modulada). De este modo, las vibraciones de las ondas sonoras controlan directamente las variaciones de frecuencia en la onda de RF.



**Figura 3.3-4. El circuito oscilador Hartley [fuente: Ziemer, op. cit]**

**Modulador de Reactancia:** Un sistema práctico para generar FM directa es el modulador de reactancia, que produce una variación de capacitancia o reactancia en un

circuito oscilador resonante para conseguir la desviación de frecuencia. Dependiendo de la circuitería específica utilizada, el circuito modulador de reactancia actúa como una inductancia variable o como una capacidad variable en paralelo con el circuito LC resonante de un oscilador de RF. Un requisito en el circuito modulador de reactancia es que sea totalmente reactivo. Para que funcione adecuadamente, debe tener un ángulo de desfase de  $+90^\circ$  ó  $-90^\circ$ , lo que significa que no debe haber ningún componente resistivo en el circuito modulador. Existen cuatro configuraciones fundamentales de moduladores de reactancia que ofrecen buenos resultados. Éstas pueden verse en la figura 3.3-5.

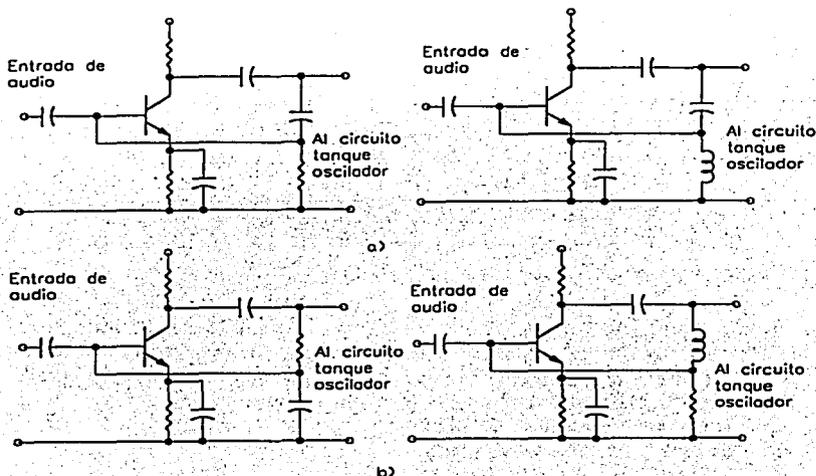


Figura 3.3-5. Moduladores de reactancia [fuente: ídem]

Aunque los circuitos que se ven utilizan un transistor como dispositivo activo, también pueden emplearse otros, como válvulas de vacío, JFET, MOSFET y circuitos integrados.

**Control automático de frecuencia:** En muchas aplicaciones de banda estrecha se puede modular directamente, un OM (oscilador maestro) estabilizado por cristal piezoeléctrico. Sin embargo la alta Q de los osciladores a cristal tiene como resultado una desviación limitada, impidiendo así la modulación directa de frecuencia para aplicaciones de banda ancha. Por esta razón, un transmisor de FM directa tiene una deficiente estabilidad de frecuencia portadora. En general, en la generación de FM directa, el OM no está estabilizado por cristal piezoeléctrico. Para satisfacer los estándares de la FCC se requiere un sistema de control automático de frecuencia (CAF) para corregir cualquier desviación de la portadora.

- Comparaciones de AM y FM

| FM   | AM   |
|--|--|
| Las señales en FM son menos afectadas por causa del ruido atmosférico, porque la información es almacenada como una variación de la frecuencia en lugar de la amplitud | Las señales son más susceptibles al ruido, porque la información se encuentra en las variaciones de la amplitud. |
| El índice de modulación puede ser variado hasta obtener ganancias en SNR de 6dB.   | El índice de modulación no puede ser cambiado automáticamente.   |
| Las señales de FM ocupan mayor ancho de banda que las de AM  | Las señales ocupan un menor ancho de banda   |

Tabla 3.3-1 [Fuente: Couch, Digital and Analog Communication Systems]

### 3.3.2 MODULACIONES DIGITALES

Las modulaciones digitales consisten en una modulación en la que la señal moduladora es digital, es decir, sólo admite unos niveles de tensión concretos. Consideremos además que esta señal es discreta, en ambos ejes (amplitud y tiempo).

Tipos de modulación:

- ASK (Amplitude Shift Keying): Modulación en amplitud.
- FSK (frequency Shift Keying): Modulación en frecuencia.
- PSK (Phase Shift Keying): Modulación en fase.

De estos tres tipos, ASK y PSK son modulaciones lineales. Además, se puede anteponer a las siglas un indicador del número de valores del mensaje original. Así, para modulaciones binarias, se tiene BASK, BFSK y BPSK; para modulaciones cuaternarias, QASK, QFSK y QPSK; y en general MASK, MFSK y MPSK. Las ventajas de la transmisión digital frente a la analógica son las siguientes:

-Permite regeneración, es decir, se puede recuperar la señal original a partir de señales que no correspondan demasiado con ella, consiguiendo robustez frente a posibles errores o distorsiones del canal.

-El hardware disponible para la transmisión digital es mucho más potente y eficiente que el analógico, disponiéndose de elementos mucho más reducidos y con mejor eficiencia.

-Se pueden implementar técnicas de multiplexación, como por ejemplo MDT (multiplexación por división de tiempo), que luego serán sencillas de demultiplexar en la recepción.

-Permite tareas de codificación (para eliminar redundancia al mensaje, o añadir bits de control de errores) y de encriptación (para conseguir transmisiones más seguras).

-Son ideales cuando la información original está en formato digital.

La principal desventaja, por otro lado, es la necesidad en general de un ancho de banda mayor para llevar a cabo la transmisión. El esquema general de un modulador digital, para ASK o PSK (modulaciones lineales), es el siguiente(figura 3.3-6):

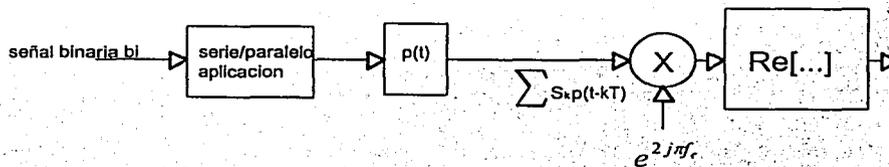


Figura 3.3-6 modulador ASK o PSK [fuente: Couch, op. cit.]

El conjunto de bits que forman la señal binaria a transmitir se codifican en otro conjunto. Estos símbolos pasan por un modulador PAM, que conforma los pulsos de la señal a modular mediante el producto por la exponencial y obtención de parte real.

En cuanto al demodulador, un posible diagrama es el siguiente:

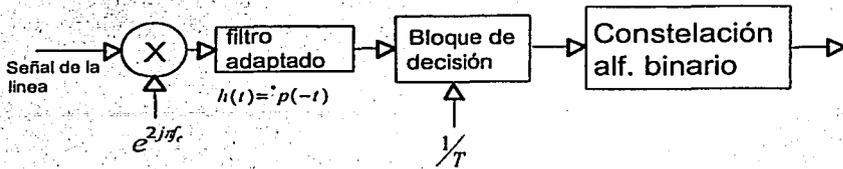


Figura 3.3-7 demodulador [fuente: idem]

El conjunto formado por el multiplicador de exponencial con el filtro adaptado forman el llamado demodulador en cuadratura. La detección, al igual que en las modulaciones analógicas, podrá ser realizada de forma coherente. Y en algunos casos, además, existirá alguna opción más sencilla.

- **Modulación ASK**

Existen dos formas posibles de obtener una modulación ASK:

-para el caso de OOK, haciendo pasar la señal portadora por un interruptor controlado por la señal de mensaje; como se ilustra en la figura 3.3-8.

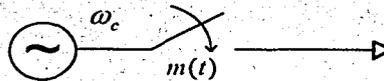


Figura 3.3-8 Modulador OOK [fuente: idem]

-en caso general, si la señal moduladora no tiene cruces por cero, multiplicando por dicha señal, figura 3.3-9.

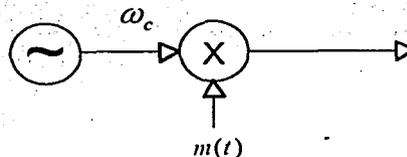


Figura 3.3-9 Modulador OOK [fuente: idem]

## - SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORA DIGITAL

Esta incluye métodos para convertir información a forma de pulsos para su transferencia de una fuente a un destino. Los cuatro métodos predominantes son: Modulación del ancho del pulso(PWM), modulación de posición del pulso(PPM), modulación de amplitud del pulso(PAM), y modulación de pulsos codificados(PCM).

- **PAM (Pulse Amplitude Modulation)**

Varía la amplitud de los pulsos para representar información analógica. Este método es muy sensible a interferencias de ruido eléctrico. En la modulación de amplitud de pulso, la amplitud de un tren de pulsos de ancho constante varía en proporción a los valores de las muestras de la señal moduladora. Los pulsos se toman a intervalos de tiempo equidistantes. La generación de PAM tiene similitudes con el muestreo. En caso de muestreo natural las pendientes de las crestas de los pulsos varían con las pendientes de la señal moduladora. En la PAM, las crestas de los pulsos son planas. La razón de utilizar los pulsos de cresta plana es que no hace falta usar la forma de los pulsos para conducir información, y un pulso de forma rectangular es fácil de generar.

Una posibilidad para recobrar el mensaje de la onda PAM es tomar muestras de la onda PAM con un tren periódico de pulsos muy estrechos y después usar un filtro pasa bajas para suavizar el resultado. Este tren debe sincronizarse con la señal PAM de entrada. Los pulsos deben ser estrechos porque la distorsión producida por las crestas planas se reducen cuando los anchos de pulso se hacen pequeños.

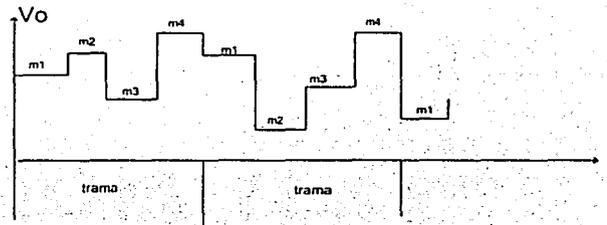


Figura 3.3-10. TDM de varias señales moduladas por amplitud de pulso.

[Fuente: idem]

El uso de pulsos muy estrechos en PAM deja suficiente espacio entre muestras para la inserción de muestras de otras señales. El método de combinar varias señales muestreadas en determinada secuencia de tiempo se llama multiplexión por división de tiempo (TDM, figura 3.3-10)(ver cap.: 3.2-1,p.40). Si se desean multiplexar dos señales usando PAM, se emplea generalmente un circuito lógico digital. El uso de los FET a frecuencias bajas es común para realizar las operaciones de muestreo. El conmutador determina la sincronización y secuencia de los canales que sean de muestreo. El generador de pulsos produce los pulsos estrechos necesarios para accionar el muestreador. El reloj marca el tiempo de todo el sistema.

- **PWM (Pulse Width Modulation).**

Representa la información mediante la variación de la anchura de los pulsos. En PWM la señal de mensaje  $f(t)$  se muestrea periódicamente a razón lo bastante rápida para satisfacer los requisitos del teorema del muestreo. En cada instante de muestra se genera un pulso de amplitud fija y ancho proporcional a los valores muestreados de  $f(t)$ , asignando un ancho mínimo  $t_0$  al mínimo de  $f(t)$ . La variación del ancho a partir de  $t_0$  es proporcional a  $f(t)$  definiéndose una constante de proporcionalidad  $k_1$ . La duración del pulso debe ser menor que la porción de tiempo asignada a una muestra, dejando usualmente un tiempo de guardia adicional  $t_g$ . La PWM es una elección frecuente cuando se desea el control remoto proporcional de una posición. Entre las desventajas de la PWM está la necesidad de detección de ambos bordes de pulso y un tiempo de guardia relativamente largo. Solo los bordes de salida de las ondas PWM contienen información moduladora.

Una señal PWM es una onda con frecuencia fija y variación en el ciclo de trabajo. El ciclo de trabajo se refiere al porcentaje de tiempo que la señal permanece en estado activo, en 1 lógico. La siguiente figura muestra lo expuesto anteriormente.

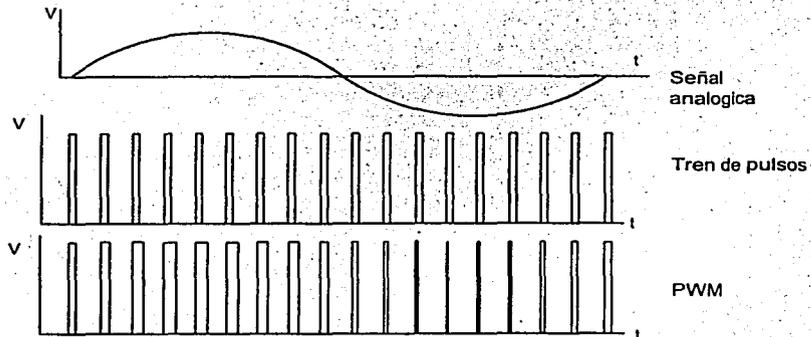


Figura. 3.3-11 Modulación por ancho de pulso. [fuente: ídem]

- **PPM (Pulse Position Modulation)**

Este método de modulación mantiene constantes la amplitud y el ancho de los pulsos y varía su posición en proporción a los valores de  $f(t)$ . El uso de PPM requiere de un método de restaurar la sincronización del reloj. La generación de la modulación de regulación de pulso y de posición de pulso emplea diversas combinaciones de un circuito de muestra y de retención, un generador de precisión de voltaje en rampa y un comparador. El generador de rampa produce un voltaje en rampa de precisión cuya amplitud de pico a pico es ligeramente mayor que el máximo intervalo de la amplitud de las señales de entrada. Este voltaje en rampa es la base de la conversión de amplitud a sincronización y, por tanto, debe conocerse exactamente. Puede reajustarse por medio de un reloj. El comparador es un amplificador que opera entre dos valores. Si la señal de entrada es mayor que el nivel de referencia, la salida se mantiene en un estado. Si es menor, la salida se mantiene en el otro estado. PPM se genera usando la onda PWM generada y accionando un generador de pulsos de ancho constante en los bordes de la onda PWM con pendiente negativa. Este generador produce pulsos de ancho y amplitud fijos cuyo tiempo de ocurrencia con relación al reloj está linealmente relacionado con los valores muestreados de la señal de entrada.

- **PCM (Pulse Code Modulation)**

Con PCM, los pulsos son de longitud fija y amplitud fija. PCM es un sistema binario; un pulso o ausencia de pulsos dentro de una ranura de tiempo preescrita representa ya sea una condición de lógica 1 o de lógica 0. Un diagrama a bloques simplificado de un solo canal para un sistema PCM sencillo en el lado de transmisión comprende un filtro pasa banda que limita a la señal analógica de entrada a la proporción de la frecuencia de la banda de voz de 300 a 3000 Hz. El circuito de muestreo y retención prueba periódicamente la entrada de información analógica y convierte esas muestras en una señal PAM de multinivel. El convertidor analógico a digital ADC convierte las muestras PAM a un flujo de datos binario seriales para transmisión. Para que el ADC convierta exactamente la señal a un código digital, la señal debe ser relativamente constante, si no es así, antes de que el ADC pueda terminar la conversión, la entrada de información cambiaría. Por lo tanto el ADC estaría continuamente intentando seguir los cambios analógicos y nunca se estabilizaría en un código PCM. En el lado de recepción, el convertidor digital a analógico DAC convierte el flujo de datos binario seriales a una señal PAM de multinivel. El circuito de retención y el filtro pasobajas convierten a la señal PAM nuevamente en la señal analógica original.

- **DPCM(Diferencial Pulse Code Modulation)**

En una forma de onda típica de voz codificada en PCM, frecuentemente hay muestras sucesivas tomadas en las cuales hay muy poca diferencia, entre las amplitudes de las dos muestras. Esto requiere transmitir varios códigos PCM idénticos, lo cual es redundante. DPCM está diseñado específicamente para aprovechar las redundancias de muestra a muestra, y las formas de onda de voz típicas. Con DPCM, la diferencia en la amplitud de las dos muestras sucesivas se transmite en vez de la muestra verdadera. En un transmisor de PCM, la señal de entrada analógica se limita en la banda a la mitad de la razón de muestra, después se compara al nivel de la señal acumulada anteriormente en el diferenciador. El resultado es la diferencia entre las dos señales. La diferencia es un PCM codificado y transmitido. Para un receptor de DPCM, cada muestra recibida se convierte a analógica, se almacena, y después, se agrega con la siguiente muestra recibida (figura 3.3-12).

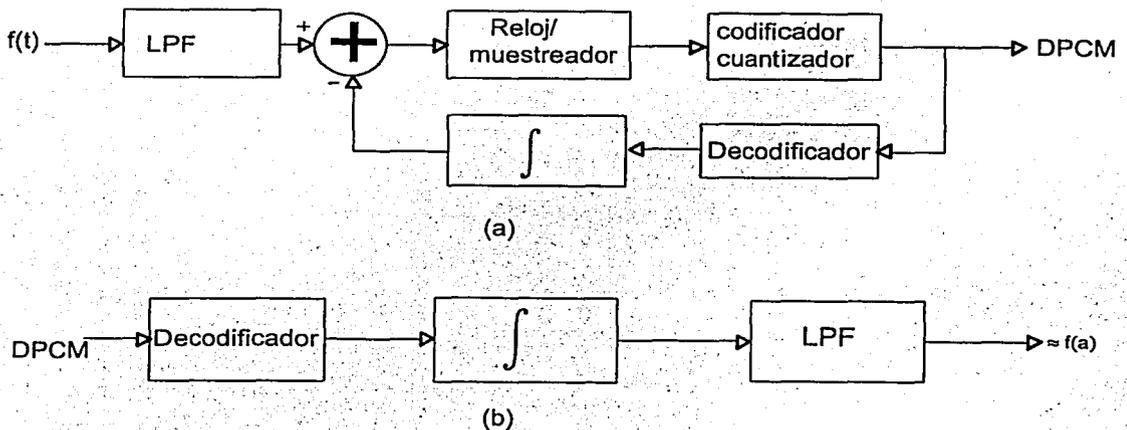


Figura 3.3-12 Modulador y demodulador DPCM. [Fuente: idem]

- **PCM Delta**

La modulación delta utiliza un código PCM, sólo que en vez de transmitir una representación codificada de la muestra, solo se transmite un bit lo cual indica si esa muestra es mayor o menor que la muestra anterior. Si la muestra actual es menor que la muestra anterior, se transmite un cero lógico. Si la muestra actual es mayor que la muestra anterior, se transmite un 1 lógico. Para un transmisor de modulación delta, la entrada analógica se muestrea y se convierte a una señal PAM que se compara a la salida del DAC (convertidor digital a analógico). La salida del DAC es un voltaje igual a la magnitud regenerada de la muestra anterior, la cual se almacenó en el contador como un número binario. El contador se incrementará o se reducirá dependiendo si la muestra anterior es mayor o menor que la muestra actual. El contador se actualiza después de cada comparación. El receptor de modulación delta es casi idéntico al transmisor excepto por el comparador. Conforme se reciben los unos y ceros lógicos, el contador ascendente-descendente se incrementará o reducirá a conformidad. El resultado del DAC en el decodificador es idéntico al resultado del DAC en el transmisor. Hay 2 problemas asociados con la modulación delta que no ocurren en PCM normal: sobrecarga de la pendiente que es cuando la señal de entrada analógica cambia a una tasa más rápida que el DAC puede mantener; y ruido granular cuando la señal de entrada analógica original tiene una amplitud relativamente constante, la señal reconstruida tiene variaciones que no están presentes en la señal original.

**-MEDIO DE TRANSMISIÓN**

En los sistemas de telemetría y de comunicación en general, el diseño del transmisor y receptor está estrechamente relacionado con el medio de transmisión. Cuando las señales atraviesan el medio de transmisión (o *canal* como se le denomina con frecuencia) se distorsionan; aparecen señales de interferencia y ruido, por lo que la interpretación correcta de las señales que se reciben en el destino deseado se transforma en una tarea difícil. Las señales eléctricas producidas por el sistema de adquisición de datos tienen una banda de frecuencia. Por lo que para cada banda, se necesita utilizar un medio apropiado al intervalo de frecuencias. Estos medios físicos pueden ser de dos tipos: *confinados y no confinados*. En un medio confinado, las señales se ven limitadas por el medio, es decir no salen de él, excepto por las pérdidas, en la fibra óptica la señal se transmite por medio de reflexiones. Los medios no confinados son aquellos donde las señales electromagnéticas originadas por la fuente radian libremente a través del medio y se esparcen por éste, el aire por ejemplo. A continuación se presentan los diferentes medios que se encuentran en la práctica para los sistemas de telemetría.

- **Clasificación de los medios de comunicación**

Medios confinados:

- Alambre
- Par trenzado
- Cable coaxial
- Fibra óptica
- Guía de Onda

Medios no confinados:

- Microondas (terrestre)
- Satélite
- Ondas de radio (radio frecuencias)
- Infrarrojo / láser

**MEDIOS CONFINADOS:**

- **Alambre**

Las líneas de alambre abierto (sin aislar) fueron muy usadas en el siglo pasado con la aparición del telégrafo. La composición de los alambres fue al principio de hierro (acero) y después fue desplazado por el cobre, ya que este material es un mejor conductor de las señales eléctricas y soporta mejor los problemas de corrosión causados por la exposición directa a la intemperie. La resistencia al flujo de corriente eléctrica de los alambres abiertos varía grandemente con las condiciones climáticas. Los grosores de los cables son medidos de diversas maneras, el método predominante en los Estados Unidos sigue siendo el Wire Gauge Standard (AWG). El intervalo de los cables abiertos va desde 10 AWG (0.1019 pulgadas de diámetro) hasta 19 AWG (0.0359 pulgadas de diámetro).

<sup>28</sup> Cfr. Haykin, Communication Systems, cap. 1.3.

<sup>29</sup> Cfr. Schwartz, op. cit., cap. 1

<sup>30</sup> Cfr. Lathi, Sistemas de comunicación, cap. 4.18.

- Cable coaxial

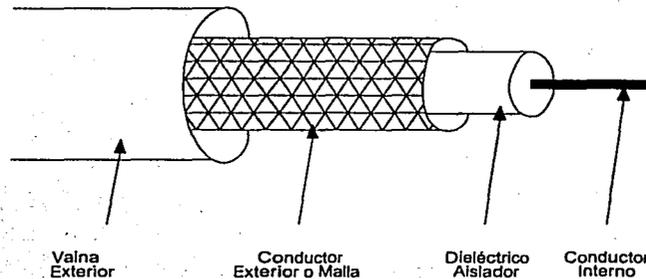


Figura 3.4-1 Estructura de un cable coaxial [fuente: Tanenbaum, op.cit]

**Estructura.** El cable coaxial está compuesto por dos conductores, uno interno o central, y otro exterior que lo rodea totalmente. Esta disposición provee de un excelente blindaje entre los dos conductores del mismo. El conductor interno está fabricado generalmente de alambre de cobre rojo recocido, mientras que el revestimiento en forma de malla está fabricado de un alambre muy delgado, trenzado de forma helicoidal sobre el dieléctrico o aislador. Entre ambos conductores existe un aislamiento de polietileno compacto o espumoso, denominado dieléctrico. Finalmente, y de forma externa, existe un aislamiento compuesto por PVC o Policloruro de Vinilo. La estructura se ilustra en la figura 3.4-1. El material dieléctrico define de forma importante la capacidad del cable coaxial en cuanto a velocidad de transmisión por el mismo se refiere. Siempre haciendo referencia a la velocidad de la luz, la Tabla 3.4-1 muestra la velocidad que las señales pueden alcanzar en su interior. Lo interesante del cable coaxial es su amplia difusión en diferentes tipos de redes de transmisión de datos, no solamente en computación, sino también en telefonía y especialmente en televisión por cable.

| MATERIAL<br>DIELÉCTRICO | %<br>VELOCIDAD | VELOCIDAD<br>(km/s) |
|-------------------------|----------------|---------------------|
| Polietileno Sólido      | 65.9%          | 197700              |
| Polietileno Espumoso    | 80.0%          | 240000              |
| Polietileno             | 88%            | 264000              |
| Teflón Sólido           | 69.4%          | 208200              |
| Elastipar               | 66.0%          | 198000              |
| Teflón expandido        | 85.0%          | 255000              |

Tabla 3.4-1. Velocidad de propagación del cable coaxial según el material dieléctrico.  
[Fuente: Hioki, op. cit.]

Básicamente existen dos categorías:

**Transmisión de Banda Ancha (Broadband):** Con una impedancia característica de 75 OHMIOS, es utilizado en la transmisión de señales de televisión por cable (CATV, "Cable Televisión").

**Transmisión de Banda Base (Baseband):** Con una impedancia característica de 50 OHMIOS, es utilizado en las redes de área local LAN. Dentro de esta categoría podemos citar según su utilización, dos tipos de cable: El coaxial grueso (Thick) y el coaxial fino (Thin).

- **Coaxial grueso (Thick):** Fue el cable más utilizado en LAN en un principio y aún sigue usándose en determinadas circunstancias con un alto grado de interferencia, distancias largas, etc. Los diámetros de su alma/malla son 2, 6/9.5 mm. y el total de cable de 0.4 pulgadas (aprox. 1 cm).

El ancho de banda (intervalo de las frecuencias que se pueden pasar a través de un canal de comunicación) del cable coaxial depende de la longitud del cable.

**Coaxial fino (Thin):** Surgió como alternativa al cable anterior, al ser más barato, flexible y fácil de instalar. Los diámetros de su alma/malla son 2, 6/9.5 mm. Sus propiedades de transmisión (pérdidas de empalmes y conexiones, distancia máxima de enlace) son sensiblemente peores que las del coaxial grueso. Con éste coaxial se utilizan conectores BNC ("British National Connector") sencillos y de alta calidad. En el pasado el coaxial manejaba velocidades de 10 Mbps, superior a la velocidad del par trenzado, pero las novedosas técnicas de transmisión del cableado trenzado superan en algunas categorías la velocidad del coaxial, sin embargo el cable coaxial puede conectar dispositivos a distancias más largas. Existen varias opciones para el estándar Ethernet 802.3 que se diferencian por velocidad, tipo de cable y distancia de transmisión. Es importante notar que hoy en día las redes de computadoras que emplean cable coaxial han quedado desplazadas por el cable UTP, en muchos sentidos, particularmente por la seguridad de la topología UTP que evita los frecuentes problemas que presenta el cable coaxial al perderse la señal por algún conector en mala posición.

#### - Par trenzado

El cable par trenzado no blindado, más conocido como UTP, es uno de los más comunes y difundidos debido a la alta expansión de las redes telefónicas en todo el mundo. Es uno de los medios más empleados para la transmisión de señales en el intervalo de frecuencias de voz en redes de conmutación de circuitos o las llamadas redes telefónicas. Este tipo de redes propiciaron precisamente el ingreso de UTP a los mercados de redes de computadoras. Actualmente tiene una amplia difusión no solamente en telefonía, sino también dentro de las redes LAN de computadoras. Esta adaptabilidad responde a que el mismo es fabricado en diversas categorías, cada una de las cuales tiene un objetivo específico de aplicación.

**Categorías del cable UTP** Existen hasta el día de la fecha 5 categorías del cable UTP y una en proyecto, es decir la sexta. (ver tabla 2.4-III)

| Categoría | Aplicación   |
|-----------|--|
| 1         | Diseñado para redes telefónicas                          |
| 2         | Empleado para la transmisión de voz y datos hasta 4 Mbps |
| 3         | Redes de computadoras con velocidades hasta de 16 Mbps   |
| 4         | Redes de computadoras hasta a velocidades de 20 Mbps     |
| 5         | Redes de computadoras con velocidades hasta de 100 Mbps  |

Tabla 2.4-II. Categorías de cable UTP [fuente: idem]

### Cable UTP para comunicaciones en el intervalo de frecuencias vocal

Por lo general, la estructura de todos los cables UTP no difiere significativamente, aunque es cierto que cada fabricante introduce algunas tecnologías adicionales mientras los estándares de fabricación se lo permitan. Así, la estructura de este cable es por lo general la que se muestra en la figura 3.4-2. El cable está compuesto internamente por un conductor que es de alambre electrolítico recocado, de tipo circular, aislado por una capa de polietileno coloreado. Debajo del recubrimiento coloreado existe otra capa de aislamiento también de polietileno, que contiene en su composición una sustancia antioxidante para evitar la corrosión del cable.

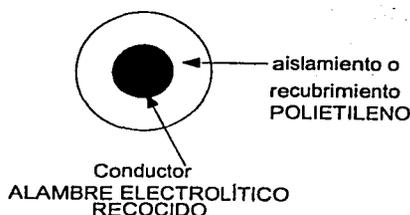


Figura 3.4-2. Corte transversal de un cable UTP. [Fuente: idem]

Sin embargo es importante aclarar que habitualmente este tipo de cable no se maneja por unidades, sino por pares y grupos de pares, paquete conocido como cable multipar. Todos los cables del multipar están trenzados entre sí con el objeto de mejorar la resistencia de todo el grupo hacia diferentes tipos de interferencia electromagnética externa. Por esta razón surge la necesidad de poder definir colores para los mismos que permitan al final de cada grupo de cables conocer cuál cable va con cual otro. Los colores del recubrimiento están normalizados para facilitar su manipulación por grandes cantidades. En telefonía, es común encontrar dentro de las conexiones grandes, cables telefónicos compuestos por cantidades de pares trenzados, aunque perfectamente identificables unos de otros a partir de la normalización de los mismos según se muestra en la figura 3.4-3. Los cables una vez fabricados unitariamente y aislados, se trenzan en pares de acuerdo al color de cada uno de ellos, aún así estos se vuelven a unir a otros formando estructuras mayores: los pares se agrupan en subgrupos, los subgrupos se agrupan en grupos, los grupos se agrupan en superunidades, y las superunidades se agrupan en el denominado cable. De esta forma se van uniando los cables hasta llegar a capacidades de 2200 pares; un cable normalmente está compuesto por 22 superunidades; cada subunidad está compuesta por 12 pares aproximadamente; este valor es el mismo para las unidades menores. Los cables telefónicos pueden ser armados de 6, 10, 18, 20, 30, 50, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 900, 1200, 1500, 1800 ó 2200 pares.

| No. PAR | Color Conductor N° 1 | Color Conductor N° 2 |
|---------|----------------------|----------------------|
| 1       | Blanco               | Azul                 |
| 2       | Blanco               | Anaranjado           |
| 3       | Blanco               | Verde                |
| 4       | Blanco               | Marrón               |
| 5       | Blanco               | Gris oscuro          |
| 6       | Rojo                 | Azul                 |

Tabla 3.4-III [Fuente: idem]

**Pares de reserva:** Para el reemplazo de eventuales pares defectuosos se colocan pares de reserva en cables que tengan 100 o más pares. Se ubican en la parte más externa del cable y su número no puede ser mayor al 1% de la cantidad total de pares del cable.

**Blindaje exterior de cable:** Todo el conjunto o cable se recubre con una cinta de material aislante, resistente a la humedad. Se aplica la cinta al cable de forma helicoidal o longitudinal. Adicionalmente, el cable es cubierto por polietileno laminado (compuesto por una parte de aluminio)

**Presurización de los cables:** La presurización es un proceso por el cual se introduce al interior de los cables un gas seco, a efectos de eliminar la humedad del interior. Esto tan solo para los cables que poseen más de 50 pares.

**Pruebas sobre los cables:** Los cables antes de ser lanzados al mercado son probados de diversas formas: pruebas eléctricas con el objeto de probar los cables se emplea una corriente continua aplicada sobre un tramo del cable de longitud determinada, a una tempera de 20°C. El cable deberá presentar una resistencia que no sobrepase los 143 Ohms/km. Un cable de mayor resistencia ocasionaría demasiada atenuación, por ende, disminuye el alcance de las señales enviadas por el mismo; las pruebas físicas se efectúan para medir valores de tracción, alargamiento y ruptura, empleando porciones del cable denominadas probetas. La probeta es sometida a una tracción, determinándose el punto para el cual comienza el alargamiento, valor que se denomina Tracción Mínima. La fuerza sigue siendo aplicada hasta que se produce la ruptura del cable, valor que determina el denominado Alargamiento de Ruptura Mínima. Se realiza otra prueba para determinar el nivel de Contracción Del Cable, para ello, se toma una muestra de 150mm de cable, se la somete a un calentamiento de entre 115 y 130 grados, por 4 horas, luego se retira la muestra y se mide el nivel de contracción a temperatura ambiente hasta el equilibrio

**Estructura del cable:** Precisamente es el UTP Categoría 5 el que ocupa aproximadamente el 60% de todas las redes LAN del mundo, sustituyendo a su predecesor el cable coaxial y antecediendo a medio más rápido de transmisión de datos: la fibra óptica.

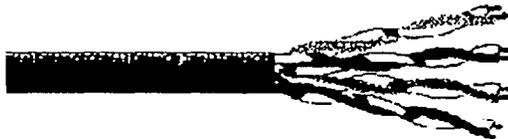


Figura 3.4-3 Estructura de un cable UTP.

[Fuente: ídem]

El cable UTP para redes actualmente empleado es el de 8 hilos categoría 5, es decir cuatro pares trenzados formando una sola unidad (figura 3.4-3). Estos cuatro pares vienen recubiertos por una vaina plástica que mantiene el grupo unido, mejorando la resistencia ante interferencias externas. Es importante notar que cada uno de los cuatro pares tiene un color diferente, pero a su vez, cada par tiene un cable de un color específico y otro blanco con algunas franjas del color de su par. Esta disposición de los cables permite una adecuada y fácil identificación de los mismos con el objeto de proceder a su instalación. Vale la pena indicar que el cable UTP tiene un pariente muy cercano como es el STP o Par Trenzado Blindado, con una mayor protección contra interferencias, aunque lamentablemente con un precio mayor. Todo administrador de red sabe perfectamente que el cable UTP es por demás suficiente para cualquier tipo de exigencia, y su resistencia a interferencias aunque no es la del STP, es alta, más cuando es tendido por canaletas.

### - Fibra óptica

Sin duda, todos los tipos de redes que emplean algún tipo de cableado, apuntan hacia la fibra óptica, en cualquiera de sus aplicaciones prácticas, llámese FDDI(Fiber Distributed Data Interface), ATM(Asynchronous Transfer Mode), o inclusive en redes LAN con el estándar 100 BaseF, que emplea un par de fibras ópticas para mover información a lo largo de toda la red. En la actualidad ya existe gran cantidad de redes en todo el mundo que emplean la fibra óptica como un elemento importante dentro de la red, particularmente cubriendo el papel del backbone o medio de transmisión vertebral, uniendo dos edificios, oficinas de un campus, poblaciones cercanas, etc. Este es el medio de transmisión de datos inmune a las interferencias por excelencia, con seguridad debido a que por su interior dejan de moverse impulsos eléctricos, proclives a los ruidos del entorno que alteren la información. Al conducir luz por su interior, la fibra óptica no es propensa a ningún tipo de interferencia electromagnética o electrostática.



Figura 3.4-4. [fuente: Lee, op: cit]

La fibra es un hilo fino de vidrio generalmente o plástico, cuyo grosor se asemeja al de un cabello, capaz de conducir la luz por su interior. La modulación de esta luz permite transmitir información tal como lo hacen los medios eléctricos.

**Estructura:** La estructura de la fibra óptica es relativamente sencilla, aunque la mayor complejidad radica en su fabricación. La fibra óptica está compuesta por dos capas, una denominada Núcleo y la otra denominada Recubrimiento. La relación de diámetros es de aproximadamente 1 de recubrimiento por 3 de núcleo, como se ilustra en la figura 3.4-4. El extra delgado hilo de vidrio está cubierto por una capa plástica que le brinda la protección necesaria, aunque normalmente un gran conjunto de fibras se unen entre sí para obtener mayor seguridad como veremos un poco más adelante.

**Principios de la propagación de la luz:** La fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con distinto índice de refracción. El índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento, razón por la cual, y debido a la diferencia de índices la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y propaga a través del núcleo. Se produce por ende el efecto denominado de Refracción Total, tal como se ilustra en la figura 3.4-5.

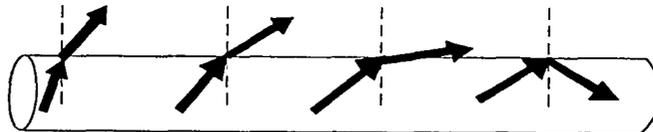
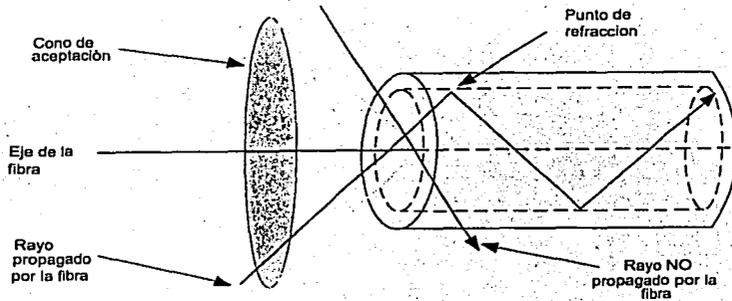


Figura 3.4- 5. Principios de refracción [Fuente: idem]

**Cono de aceptación:** Los rayos de luz pueden entrar a la fibra óptica si el rayo se halla contenido dentro de un cierto ángulo denominado cono de aceptación. Un rayo de luz puede perfectamente no ser transportado por la fibra óptica si no cumple con el requisito del cono de aceptación. El cono de aceptación está directamente asociado a los materiales con los cuales la fibra óptica ha sido construida. La figura 3.4-6 así lo ilustra.



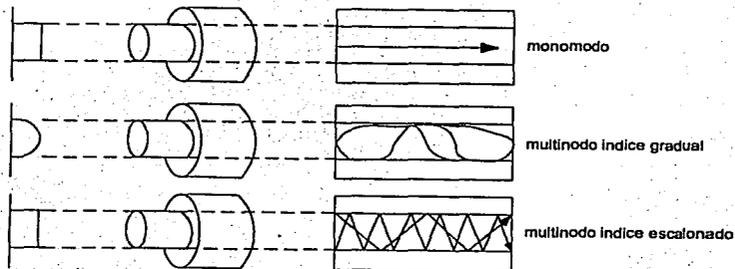
**Figura 3.4-6. Cono de aceptación [fuente: ídem].**

Respecto a atenuaciones producidas dentro de otros medios de transmisión, la fibra óptica presenta niveles de atenuación realmente bajos que permiten transmitir luz por varios kilómetros sin necesidad de reconstruir la señal (regenerar).

**Longitud de onda:** Todo rayo de luz se halla dentro de un espectro posible. El espectro incluye en la parte más izquierda, los rayos de luz de menor longitud de onda, pero que poseen más energía, denominados ultravioletas. En el otro extremo, se halla las luces de mayores longitudes de onda, pero que poseen menor energía, a las que se denomina infrarrojas. Un intervalo relativamente pequeño de todo este espectro, que se halla entre los colores violeta y rojo, es el que el ojo humano puede apreciar. Son precisamente las luces que se hallan dentro del espectro correspondiente a los infrarrojos los que se emplean para transmitir información por el interior de las fibras ópticas.

**Tipos de fibra óptica:** Las fibras ópticas se clasifican de acuerdo al modo de propagación que dentro de ellas describen los rayos de luz emitidos. En esta clasificación existen tres tipos. Los tipos de dispersión de cada uno de los modos pueden ser apreciados en la figura 3.4-7.

**Monomodo:** En este tipo de fibra, los rayos de luz transmitidos por la fibra viajan linealmente. Este tipo de fibra se puede considerar como el modelo más sencillo de fabricar, y sus aplicaciones son concretas.



**Figura 3.4-7[idem]**

**Multimodo de Índice gradual:** Esta fibra es más costosa, y tienen una capacidad realmente amplia. La tecnología de fabricación de las mismas es realmente importante. Sus costos son elevados ya que el índice de refracción del núcleo varía de más alto, hacia más bajo en el recubrimiento. Este hecho produce un efecto espiral en todo rayo introducido en la fibra óptica, ya que todo rayo describe una forma helicoidal a medida que va avanzando por la fibra.

**Multimodo de Índice escalonado:** Este tipo de fibra, se denomina de multimodo índice escalonado. La producción de la misma resulta adecuada en cuanto a tecnología y precio se refiere. No tiene una capacidad tan grande, pero la calidad final es alta. El índice de refracción del núcleo es uniforme para todo el mismo, en realidad describe la forma general de la fibra óptica.

**Dispersión de la luz:** Este es uno de los fenómenos típicos perjudiciales que se producen dentro de la transmisión por fibra óptica. Por el efecto de la dispersión, todo rayo que viaja por una fibra se va ensanchando a medida que avanza por la misma. Los cálculos para la introducción de repetidores regenerativos deben contemplar este fenómeno. Es cierto que la fibra más que ningún otro medio de transmisión es ideal para transmitir a largas distancias, sin embargo el fenómeno de dispersión de la luz se produce y debe ser tenido muy en cuenta.

**Cables ópticos:** Para manipular la fibra óptica, ésta se incorpora dentro de una estructura mayor que asegura su funcionalidad y conservación. Este grupo de varias fibras ópticas es conocido con el nombre de cable óptico.

Un elemento central de tracción con un recubrimiento de polietileno es empleado para evitar tensiones y tracciones que puedan romper una o varias de las fibras contenidas en su interior. Las fibras están recubiertas por una cinta helicoidalmente dispuesta, con una vaina exterior que recubre todo el conjunto.

**Sistemas Optoelectrónicos:** Un sistema optoelectrónico es aquel conjunto de componentes necesarios para formar un sistema de comunicación que emplea como medio básico de comunicación a la fibra óptica. Para transmitir la información, se requiere de un dispositivo emisor de luz como puede ser LED (Light Emitted Diode) diodo emisor de luz, o bien un LASER (Light Amplification Stimulated Emission Radiations) amplificación de luz por estimulación de emisión de radiación. En el otro extremo del vínculo, y para poder detectar esa luz, se usan fotodetectores, que pueden ser: APD (Avalanche Photo Diode) fotodiodo de avalancha, PIN (Photo Detector) fotodetector PIN, o bien PIN-FET (Photo Detector Field Effect Transistor) fotodetector y transistor por efecto de campo. Hasta ahora, existe una gran cantidad de dispositivos que están destinados a convertir todo tipo de señales: sonido, voz, video, etc., a señales ópticas.

**Emisores de luz LED Y LASER:** Se emplean como emisores de luz, tanto diodos LED como diodos LASER. Ambos son semiconductores de estado sólido y emiten espontáneamente luz cuando se los somete a una corriente eléctrica. Sin embargo, la potencia del LED es inferior a la del LASER. El problema es que el LASER requiere de un conjunto de circuitos de enfriamiento, dado el elevado calor generado a partir de su uso. De ambos, el LASER es más caro, aunque evidentemente es el mejor. El ancho espectral del LED y del LASER varían, el LASER particularmente tiene un ancho espectral menor, lo que significa que tiene mayor potencia, dada su baja disipación, como se ilustra en la figura 3.4-8. Las fibras ópticas son realmente inmunes a cualquier tipo de ruido, sin embargo, tanto el transmisor como el receptor son sensibles al mismo, razón por la cual deben tener el blindaje adecuado, a fin de introducir la información a la fibra de forma correcta.

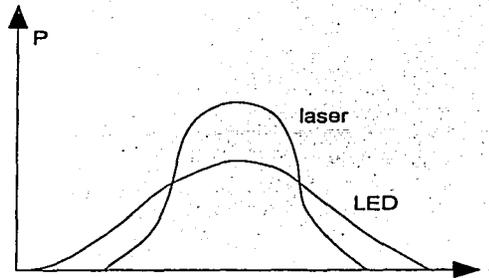


Figura 3.4-8. Ancho espectral del LED y del LASER [Fuente: ídem].

**Receptores de luz APD, PIN, PIN-FET:** Son dispositivos capaces de convertir las señales fotónicas en señales eléctricas. El diodo PIN tiene una capacidad lo suficientemente buena para trabajar con transmisiones analógicas. La velocidad del APD lo convierte en el ideal para trabajar con transmisiones digitales. El APD requiere adicionalmente de estabilización de tensión y temperatura.

**- Guía de Onda.**

La guía de onda es otro medio de comunicación también muy usado, el cual opera en el intervalo de las frecuencias comúnmente llamadas como microondas. El ancho de banda es extremadamente grande y es usada principalmente cuando se requieren bajas pérdidas en la señal bajo condiciones de muy alta potencia como el caso desde una antena de microondas al receptor/transmisor de radio frecuencia. Las aplicaciones típicas de este medio es en las centrales telefónicas para bajar/subir señales provenientes de antenas de satélite o estaciones terrenas de microondas. A continuación se muestran varios tipos de guías de onda.

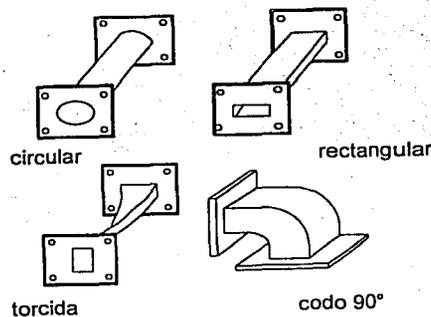


Figura 3.4-9. Tipos de guías de onda [Fuente: Young, op.cit.]

### 3.4.2. MEDIOS NO CONFINADOS

#### - Infrarrojo/Láser

Las transmisiones de láser de infrarrojo directo envuelven las mismas técnicas empleadas en la transmisión por fibra óptica, excepto que el medio en este caso es el aire libre. El láser tiene un alcance de hasta 10 millas, aunque casi todas las aplicaciones en la actualidad se realizan a distancias menores de una milla. Típicamente, las transmisiones en infrarrojo son utilizadas donde la instalación de cable no es factible entre ambos sitios a conectar. Las velocidades típicas de transmisión a esas distancias son 1.5 Mbps. La ventaja del láser infrarrojo es que no es necesario solicitar permiso ante las autoridades para utilizar esta tecnología. Debe de tenerse mucho cuidado, en la instalación ya que los haces de luz pueden dañar al ojo humano. Se requiere un lugar adecuado para la instalación del equipo. Ambos sitios deben de tener línea de vista. Para distancias cortas las transmisiones por láser-infrarrojo son una excelente opción. Se utiliza bastante para conectar LANs localizadas en diferentes edificios. ( ver figura 3.4-10)

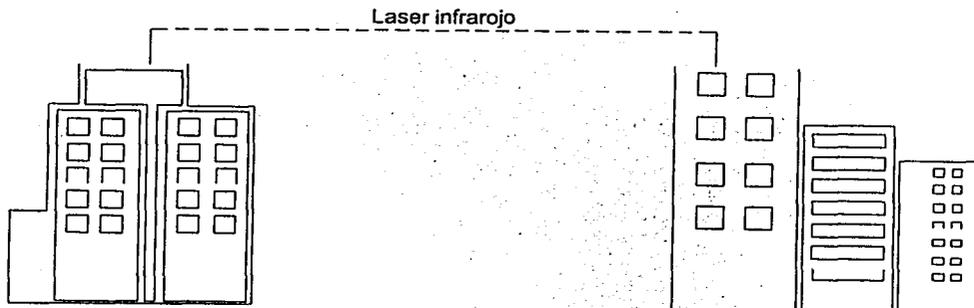


Figura 3.4-10. Sistema bidireccional [Fuente: Tanenbaum, op. cit.]

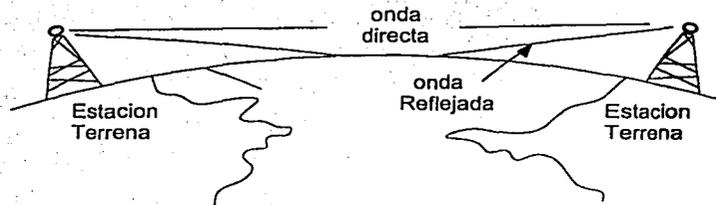
#### -Microondas Terrestre

Un radioenlace terrestre o microondas terrestre provee conectividad entre dos sitios (estaciones terrenas) en línea de vista (Line-of-Sight, LOS) usando equipo de radio con frecuencias de portadora por encima del 1 GHz. La forma de onda emitida puede ser analógica (convencionalmente en FM) o digital.

Las principales aplicaciones de un sistema de microondas terrestre son las siguientes:

- o Telefonía básica (canales telefónicos)
- o Datos
- o Telégrafo/Telex/Facsímile
- o Canales de Televisión.
- o Video
- o Telefonía Celular (entre troncales)
- o Estaciones climatológicas
- o Sistemas de telemetría.

Un sistema de microondas consiste de tres componentes principales: una antena con una corta y flexible guía de onda, una unidad externa de RF (Radio Frecuencia) y una unidad interna de RF. Las principales frecuencias utilizadas en microondas se encuentran alrededor de los 12 GHz, 18 y 23 GHz, las cuales son capaces de conectar dos localidades entre 1 y 15 millas de distancia una de la otra. El equipo de microondas que opera entre 2 y 6 GHz puede transmitir a distancias entre 20 y 30 millas. (figura 3.4-11)

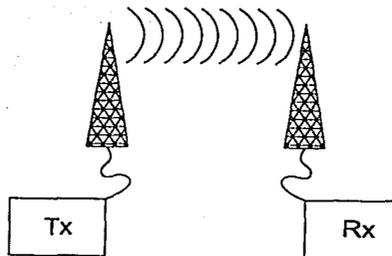


**Figura 3.4-11. Enlace de microondas de línea de vista [fuente: ídem]**

Las licencias o permisos para operar enlaces de microondas pueden resultar un poco difíciles ya que las autoridades (S.C.T. México, FCC Estados Unidos) deben asegurarse que ambos enlaces no causen interferencia a los enlaces ya existentes. El clima y el terreno son los mayores factores a considerar antes de instalar un sistema de microondas. Como por ejemplo, no es recomendable instalar sistemas en lugares donde llueva mucho; en este caso deben usarse radios con frecuencias bajas (es decir menores a 10 GHz). Las consideraciones en el terreno incluyen la ausencia o presencia de montañas o grandes concentraciones de agua las cuales pueden ocasionar alteraciones a las reflexiones de multi-trayectorias.

**- Radio comunicación.**

Un medio de transmisión muy común es el radio enlace, la energía que se radia por una antena transmisora puede alcanzar a la antena receptora a través de cualquiera de varias posibles vías de propagación, por ejemplo las redes inalámbricas que emplean parte del espectro para transmitir información entre los equipos.



**Figura 3.4-12. Radiocomunicación [fuente: Lathi]**

Por definición, la radiocomunicación es la técnica que permite el intercambio de información entre dos puntos geográficos distantes mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas, como se ilustra en la figura 3.4-12. Estas tienen una velocidad de propagación muy cercana a la velocidad de la luz, es decir 300000km/seg, lo que representa una velocidad por demás aceptable. En todo sistema de transmisión por radio, debe existir un transmisor y una antena asociada al mismo. El transmisor emite entre su potencia de salida a la antena, la cual genera una señal hacia el exterior.

El proceso contrario se da cuando una antena receptora captura las señales y las conduce a un equipo capaz de extraer la información contenida en ellas. Entre ambas antenas se propagan las señales electromagnéticas.

| BANDA DE FRECUENCIA | DESIGNACIÓN                | LONGITUD DE ONDA | USO EN COMUNICACIONES             |
|---------------------|----------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 300kHz → 3MHz       | MF(Midle Frecuency)        | 1km → 100m       | Radio difusión AM                 |
| 3MHz → 30MHz        | HF (High Frecuency)        | 100m → 10m       | Onda Corta<br>(radio aficionados) |
| 30MHz → 300MHz      | VHF (Very High Frecuency)  | 10m → 1m         | TV, Radio FM,<br>Radiollamadas    |
| 300MHz → 3GHz       | UHF (Ultra High Frecuency) | 1m → 10cm        | Microondas, TV                    |
| 3GHz → 30GHz        | SHF (Super High Frecuency) | 10cm → 1cm       | Microondas, Satélite              |

**Tabla 3.4-III. Asignación de bandas de frecuencia. [Fuente: ídem]**

a) **Espectro de radiofrecuencias:** El espectro de radiofrecuencias hace referencia a cómo está dividido todo el ancho de banda que se puede emplear para transmitir diversos tipos de señales. La relación completa se muestra en la tabla 4-3-III. Existe una reglamentación que asigna determinadas frecuencias a determinados tipos de transmisión de información.

b) **Naturaleza de las ondas de radio:** El proceso de transmisión es el siguiente: Se aplica una potencia de radiofrecuencia a una antena (una señal eléctrica modulada). Los electrones contenidos en el metal de la antena, comienzan a oscilar instantáneamente. El movimiento de estos electrones genera una corriente eléctrica que se manifiesta de dos formas sobre la antena. Mediante un campo magnético concéntrico al conductor de la antena, con líneas de fuerza concéntricas al conductor, y un campo eléctrico cuyas líneas de fuerza son perpendiculares a las líneas de fuerza del campo magnético. La longitud de onda está directamente relacionada al tamaño de la antena, aspecto que debe ser considerado al momento de instalar la misma.

c) **Dominio de la frecuencia:** La señal que se transmite suele representarse como una función del tiempo, pero también puede expresarse en función de la frecuencia. Generalmente la señal está constituida por varias componentes a frecuencias diferentes, lo que hace su análisis menos intuitivo. A efectos de transmisión de datos suele resultar más útil el análisis de frecuencia de la señal que el temporal. Sea la señal  $s(t)$  una función dada:

$$S(t) = \text{sen}2\pi f_1 t + \frac{1}{3} \text{sen}2\pi(3f_1)t + \frac{1}{5} \text{sen}2\pi(5f_1)t \quad \text{ec. 3.18}$$

Esta función presenta tres componentes sinusoidales de frecuencias  $f$ ,  $3f$ ,  $5f$ , respectivamente, que se ven en la figura 3.4-13.

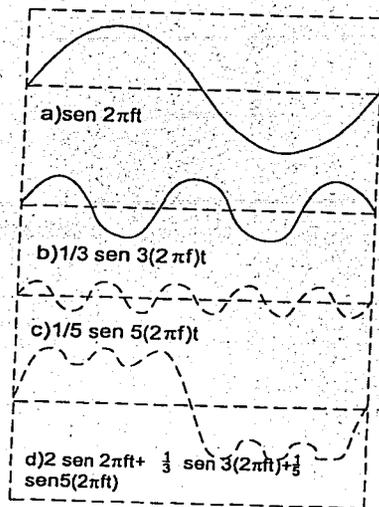


Figura 3.4-13 [Fuente: Young,op. cit]

Puede demostrarse (por medio del análisis de Fourier), que cualquier señal periódica puede descomponerse en una o más componentes, siendo cada componente una senoide. Podemos afirmar que, para cada señal existe una función  $s(t)$  en el dominio del tiempo que especifica la amplitud de la señal en cada instante, y de forma análoga existe una función  $S(f)$  en el dominio de la frecuencia que especifica las frecuencias que constituyen la señal. La figura 3.4-14 muestra la representación en el dominio de la frecuencia de la señal de ejemplo.

Nótese que, en este caso  $S(f)$  es discreta, situación que se dará siempre que representemos señales periódicas. El espectro de una señal es el ancho de banda que contiene. En la figura 3.4-14, el espectro se extiende desde  $f_1$  hasta  $5f_1$ . El ancho de banda absoluto es la anchura del espectro, que el caso anterior es de  $4f$ . Muchas señales poseen un ancho de banda absoluto infinito, lo que en principio dificultaría su transmisión, ya que los medios de transmisión de comportan como filtros, dejando pasar únicamente una banda de frecuencias y eliminando las restantes, lo que da lugar a que se modifique la forma de onda de la señal. Sin embargo, la mayor parte de la energía de la señal suele concentrarse en una pocas frecuencias que se conocen como ancho de banda efectivo de la señal, o simplemente como ancho de banda. Esto se traduce en que eliminar las componentes frecuenciales que quedan fuera del ancho de banda efectivo no tenga demasiada importancia y la información que contiene la señal pueda todavía ser correctamente interpretada en el receptor.

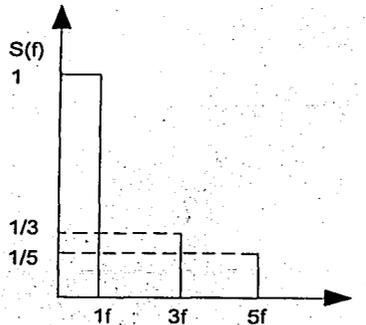


Figura 3.4-14 Representación en el dominio de la frecuencia [Fuente: ídem]

### Análisis de Fourier

Cualquier función periódica  $s(t)$  de periodo  $T$ , puede expresarse como una suma (posiblemente infinita) de senos y cosenos,  $s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{sen}(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \text{cos}(2\pi n f t)$ . ec. 3.19

Esta herramienta matemática recibe el nombre de Serie de Fourier.  $f = 1/T$  es la frecuencia fundamental y los términos  $a_n$  y  $b_n$  las amplitudes de los  $n$ -ésimos armónicos. La componente con  $n=1$  es la componente fundamental. Obsérvese que el valor  $a_0$  representa la componente continua de la señal. La transmisión de las señales provoca una disminución de su potencia. Si todas las componentes de la señal se vieran afectadas de igual forma, la amplitud de la señal disminuiría pero su forma no se vería distorsionada. Desafortunadamente, esto no sucede. Usualmente, las amplitudes apenas sufren variación desde la de frecuencia cero hasta una cierta frecuencia de corte  $f_c$ , a partir de la que se atenúan fuertemente. En algunos casos, esto se debe al propio medio de transmisión y en otros se logra intencionadamente por medio de filtros que limitan el ancho de banda asignado a cada usuario. Es importante tener en cuenta que al aumentar la velocidad de transmisión de los datos, se aumenta la frecuencia fundamental asociada a la señal, y por tanto, el número de armónicos que consiguen pasar disminuye. Esto establece un límite superior en la velocidad de transmisión que puede utilizarse. Las series de Fourier constituyen una importante herramienta en la comunicación porque permiten calcular el ancho de banda de las señales periódicas. Simplifican el análisis de complicadas formas de onda mediante su descomposición en señales más elementales (sinusoides). Además, en la mayoría de las señales manejadas usualmente los coeficientes de Fourier ( $a_n$  y  $b_n$ ) decaen rápidamente al aumentar  $n$ , lo que hace posible obtener una buena aproximación de la señal manejando únicamente unas pocos términos.

### - Problemas en la Transmisión

La transmisión de una señal supone el paso de la misma a través de un determinado medio, por ejemplo: un cable, el aire, etc. Debido a diferentes fenómenos físicos, la señal que llega al receptor difiere de la emitida por el transmisor. Se mencionan a continuación una serie de efectos que contribuyen a modificar la señal que se transmite. Si la suma de todos los efectos no produce una gran diferencia entre ambas señales, conseguiremos una transmisión libre de errores. Por el contrario, cuando la señal recibida difiera en exceso de la señal transmitida el receptor puede interpretar incorrectamente la información y decimos entonces que se produce un error de transmisión. Evidentemente no todas las señales sufren los mismos efectos al atravesar los distintos medios de transmisión, luego cuando sea posible, se escoge el tipo de señales y medios que conduzcan a las mejores condiciones de transmisión.

#### a) Atenuación:

Consiste en el debilitamiento o pérdida de potencia de la señal recibida frente a la transmitida. Por ejemplo, sabemos que cualquier sonido se percibe con menor intensidad cuando más alejados nos encontramos de la fuente que lo origina. Efectivamente, la atenuación tiene un efecto proporcional a la distancia. A partir de una determinada distancia, la señal recibida es tan débil que no se puede reconocer mensaje alguno. Para paliar el efecto de la atenuación se pueden incorporar en el camino de la señal unos dispositivos activos, cuya función es amplificar la señal en la misma medida en que acaba de ser atenuada por el medio. De esta forma se consigue recuperar la señal para que pueda alcanzar más distancia. Según el tipo de señal, analógica o digital, estos dispositivos tienen un comportamiento distinto y también diferente nombre. Para el caso de señales digitales hablamos de dispositivos repetidores, que son capaces de restaurar la misma señal original. Para las señales analógicas se denominan amplificadores y estos elementos no permiten recuperar la señal original, debido al efecto del ruido que no se puede aislar de las señales analógicas pero sí de las digitales. Debido a la imposibilidad de supresión del ruido en el caso de las señales analógicas, aparece la limitación del número máximo de amplificadores que pueden ser conectados en una línea de transmisión y con ello se limita la distancia máxima de este tipo de transmisiones.

#### b) Distorsión por atenuación.

Hasta ahora hemos supuesto que la atenuación afecta por igual a todas las señales. Sin embargo, la atenuación es función, además de la distancia, de la frecuencia de las señales que se propagan. Las de mayores frecuencias sufren una mayor atenuación. Este fenómeno produce, en las señales con diferentes componentes de frecuencia, una atenuación distinta para cada componente de frecuencia, lo que origina que la señal recibida tenga una forma diferente de la transmitida, además de una menor amplitud. Como la señal recibida se ha *deformado* con respecto a la transmitida decimos que se ha *distorsionado*. Para compensar esta diferente atenuación a distintas frecuencias, los amplificadores pueden incorporar una etapa denominada *ecualizador*.

#### c) Retardo.

Otro de los problemas de la transmisión es el *retardo*. Sabemos que todas las señales se propagan a una cierta velocidad, que depende del medio y de la naturaleza de la señal. Por ejemplo: el sonido se propaga en el aire aproximadamente a 340 m/s, la luz a 3000.000 km/s, etc.

Luego todas las señales van a tardar un cierto tiempo en recorrer la distancia que separa al emisor del receptor. Además, si en el camino la señal atraviesa determinados circuitos electrónicos, ópticos, o de cualquier otra naturaleza, estos pueden añadir un retardo adicional. Por ejemplo: una puerta lógica introduce un retardo del orden de 15ns entre su entrada y su salida. De igual forma que sucedía con la atenuación, el retardo tampoco es una función constante con la frecuencia y las diferentes componentes de una señal sufren distintos retardos. Por ejemplo: para una señal limitada en ancho de banda la velocidad tiende a ser más alta en la frecuencia central y decrece en los límites de la banda de frecuencias. Esto trae como consecuencia que en un instante dado las componentes frecuenciales que llegan al receptor no son las mismas que unos instantes antes envió el emisor, por lo tanto, la señal recibida tendrá una forma distinta de la emitida, de nuevo hablamos de distorsión. A la distorsión producida por el retardo, se la denomina distorsión por retardo. Este fenómeno carece de trascendencia en las transmisiones de voz, ya que el oído humano no es sensible a las diferencias de retardo. Sin embargo, tiene efectos importantes en la transmisión de datos digitales, especialmente a alta velocidad.

#### d) Diafonía.

Es un fenómeno que se llega a experimentar en las comunicaciones telefónicas. Consiste en la interferencia de un canal (o cable) próximo, al que estamos haciendo uso, esto produce una señal que es la suma de la señal transmitida y otra señal externa atenuada que aparece de fondo. En una conversación telefónica esto se observa como una segunda conversación que se oye de fondo mezclada con la nuestra. El motivo de este fenómeno es la influencia mutua entre dos canales de transmisión próximos en frecuencia o que comparten el mismo tendido de cables.

#### e) Ruido impulsivo.

Otra fuente de problemas en la transmisión es el *denominado ruido impulsivo*. Consiste en pulsos irregulares de corta duración y relativamente gran amplitud, que son provocados por inducciones, como consecuencia de conmutaciones electromagnéticas. Este tipo de ruido es debido a causas variadas externas al medio de transmisión. Podemos asociarlo a las interferencias en un receptor de radio cuando se aproxima una motocicleta, o también al encendido de determinados aparatos en un domicilio (por ejemplo: una lavadora o nevera). Existen infinidad de dispositivos cuyo encendido o apagado genera un impulso de radio frecuencia capaz de influir a canales de comunicación próximos. El ruido impulsivo es típicamente aleatorio, es decir, se produce de manera inesperada y no suele ser repetitivo.

#### f) Ruido térmico.

Está presente en todos los dispositivos electrónicos y medios de transmisión y es debido a la agitación de los electrones en un conductor. Es proporcional a la temperatura y se encuentra distribuido uniformemente en todo el espectro de frecuencias. Habitualmente el efecto del ruido térmico es despreciable, excepto en aquellos casos en los que se trabaja con señales muy débiles.

#### - Capacidad de transmisión digital en un canal.

**Capacidad de un canal ideal:** Hasta ahora se han visto una serie de efectos físicos que producen problemas en la transmisión. Aparte de ellos, existen unos límites máximos que determinan la velocidad de transmisión máxima de un canal, dependiendo del ancho de banda del canal y el tipo de señal digital empleada. Por canal ideal entenderemos un canal exento de ruidos y de distorsiones. En este medio ideal, la velocidad máxima de transmisión de datos viene limitada por la fórmula:

$$C = 2W \log_2 M \text{ Mbps}$$

ec. 3.20

Siendo  $M$  el número de niveles posibles de la señal y  $W$  el ancho de banda expresado en hercios. El valor de  $M$  para una señal digital binaria es dos, pues dos son los valores que toma la señal. El interés de esta expresión radica en que fija una cota superior con la que compara el comportamiento de los sistemas que se diseñan.

#### Capacidad de un canal con ruido

Ya que los canales ideales no existen, sería interesante conocer la capacidad de un canal real, en el que va a aparecer una cierta cantidad de ruido. La siguiente expresión (conocida como fórmula de Shannon) nos proporciona la capacidad máxima de un canal con ruido:

$$C = 2W \log_2 (1 + S/N) \text{ bps}$$

ec. 3.21

Luego la capacidad de los canales con poco ruido será mayor que la de aquellos con mucho ruido. Esta capacidad máxima es inalcanzable, ya que la fórmula de Shannon supone unas condiciones que en la práctica no se dan. No tiene en cuenta el ruido impulsivo, ni la atenuación ni la distorsión. Representa el límite teórico máximo alcanzable.

### 3.5 PROCESAMIENTO, GRABACIÓN Y PRESENTACIÓN DE DATOS

#### Salidas de los sistemas de adquisición de datos.

Un sistema de adquisición de datos puede tener una, dos o tres diferentes tipos de salidas de los datos cuya función es:

- **Procesamiento.** Ej. :Microprocesadores, computadoras, procesadores digitales, etc.
- **Grabación o Almacenamiento.** Ej. :Grabadoras de cinta, discos duros o memorias.
- **Presentación o exhibición.** Ej. :Monitores, carátulas de lectura, impresoras, etc.

#### 3.5.1 Procesamiento de Datos.<sup>31</sup>

Es el proceso que empieza con una cantidad relativamente grande de datos y termina con una versión condensada de lo que el experimento de telemetría arroja en términos de información. Para simplificar, el procesamiento de datos se divide en cuatro grandes etapas: a)La de entrada de datos, b)la de manejo y conversión de datos, c)la de cómputo y d)la de aplicación. En el procesamiento de datos, estos deben fluir por estas etapas, hasta dar la respuesta que se está buscando.

- **a) Entrada de datos.** En esta etapa se consideran los requisitos de exactitud, respuesta en frecuencia, tasas de muestreo, el número de canales, la duración y número de pruebas, el tipo de telemetría y cuanto tiempo se dispone para el procesamiento. En esta etapa se tiene la oportunidad de demostrar si los sistemas de instrumentación son adecuados para los datos que se necesitan. Por ejemplo, evaluar si la tasa de muestreo es la adecuada para una precisión requerida. Si al diseñar un sistema de telemetría no se considera la fase de procesamiento de señales, se corre el riesgo de tener que rediseñar las etapas de instrumentación. Es recomendable para el encargado del procesamiento de datos, conocer la naturaleza física del proceso a medir, para realizar el procesamiento de manera más efectiva. El procesamiento de datos, requiere muchos datos suplementarios que aunque no son salida directa del sistema de telemetría, si son necesarios para la etapa de procesamiento. Algunos de estos datos suplementarios son por ejemplo del ambiente, de la trayectoria o meteorológicos entre otros.
- **b) Conversión y manejo de datos.** Los datos que se obtienen directamente de la telemetría rara vez son útiles. Esto se basa en el hecho de que los humanos no podemos leer discos magnéticos, largas secuencias binarias o hasta fotografías sin la ayuda de dispositivos de conversión. El manejo de datos y la conversión es la manipulación de los datos en crudo hasta obtener funciones y valores interpretables. Para esto se usan convertidores A/D, D/A o A/A. En esta etapa se realiza la calibración del sistema para tener una correspondencia entre los niveles de la señal y las lecturas realizadas, así como permitir el ajuste del intervalo de valores en el que se realizará la medida.
- **c) Cómputo.** Con la finalidad de poder interpretar resultados, frecuentemente es necesario realizar operaciones entre los datos de telemetría o con los datos suplementarios, que arrojan soluciones derivadas de gran interés. El cómputo comprende operaciones matemáticas para editar y refinar datos elementales; estas operaciones arrojan información del ambiente físico que es técnicamente imposible o muy caro de obtener midiéndolas directamente. También el cómputo arroja soluciones analíticas que guían en la toma de decisiones. Además, el cómputo tiene la capacidad de lidiar con los problemas de discontinuidades en los datos causadas por fallas, interferencias, distorsiones y ruido, entre otras irregularidades. Es de gran importancia la selección de la computadora de manera que cumpla con los requerimientos de velocidad y capacidad adecuados a la prueba. En el cómputo de datos, se cuenta con gran variedad de

<sup>31</sup> Cfr. Rosen, Harry H. "Capítulo 12: Data Reduction", en Handbook of Telemetry and Remote Control Gruenberg, Elliot L. Editor en jefe

métodos numéricos que permiten obtener diversos tipos de soluciones. Entre los principales de acuerdo a su función están los que sirven para: editar, afinar y ajustar curvas, filtrado digital, interpolación y extrapolación, diferenciación, integración, análisis espectral, análisis estadístico, ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, etc. Se recomienda al diseñador tener en su totalidad el software que se requiere para el procesamiento de datos antes de realizar el experimento, esto es con el fin de cumplir con los tiempos agendados en algunas pruebas y para realizar modificaciones con toda oportunidad. Una ventaja de usar las técnicas de computo, es que el error introducido por ellas es definible y conocido.

- **d) Aplicación.** En esta etapa se ejecuta el análisis del procesamiento de los datos. Es el elemento integrador de todo el procesamiento de datos, porque evalúa la validez del procesamiento de datos, por medio de criterios matemáticos establecidos. En esta etapa se entregan los reportes escritos donde se detalla el análisis del sistema de acuerdo a los datos obtenidos, su resolución y su adecuada presentación, junto con recomendaciones para mejorar los futuros trabajos.

### 3.5.2 Grabación de datos.

La grabación de datos es el proceso mediante el cual se almacena la información recopilada para su posterior presentación o procesamiento. Los métodos para almacenar los datos son muy diversos, entre algunos de ellos tenemos los de cinta magnética con las cuales se tiene la opción de grabar formatos digitales y analógicos. Los discos magnéticos que año con año incrementan su capacidad son una opción muy recomendable, los discos ópticos también son una muy buena opción para grabar formatos digitales. También se cuenta con métodos electrónicos para almacenar información, nos referimos a memorias semiconductoras, las cuales como consecuencia de las investigaciones en ese campo han logrado capacidades respetables. Existe un tipo de sistema semiconductor de telemetría conocido como Data-Logger al que se le adapta uno o más transductores, realiza lecturas programadas de estos transductores y las almacena en una memoria para su posterior descarga en una computadora a través de algún puerto. Es un sistema de dimensiones menores a 10cm, es barato y puede ser solución de algunos problemas de telemetría.

### 3.5.3 Presentación de Datos.

Aquí es donde se consideran los tipos de datos desplegados y los medios para presentarlos al usuario de un sistema de telemetría. Se usan para este fin graficadores, impresoras, monitores de televisión o de computadora, carátulas de lectura analógicas o digitales, leds, etc. La información resultante de la operación de un sistema de telemetría puede ser presentada en forma

- **Alfanumérica:** Consiste en presentar texto y números como resultado del experimento.
- **Gráfica:** Consiste en la representación de la correspondencia entre las variables que se están evaluando y su función.
- **Pictórica:** Corresponde a una representación visual del proceso que estamos midiendo. Ej.: Tomografías computarizadas, radiografías, fotografías, patrones de radiación infrarroja, imágenes de satélite etc.

La información puede ser presentada al momento que sucede la actividad o posteriormente. Algunas veces si se está transmitiendo la información en el momento de la acción, no es posible hacer el procesamiento en ese instante, de manera que éste se realizará después y sus resultados también serán desplegados posteriormente. De aquí que los sistemas de presentación deban ser en general, capaces de entregar información sin procesar y también de mostrar la generada después de un procesamiento. Frecuentemente, los dispositivos presentadores de datos trabajan en conexión con los equipos de procesamiento y manejo de datos, por lo que la supervisión de los datos de la telemetría nos puede dar información acerca de

un mal funcionamiento del sistema, así como de la parte en particular que está fallando, lo cual es de gran ayuda en el servicio. Se debe procurar que la exhibición final de los datos no vaya en demérito de la precisión con la que se realizó la medición, como por ejemplo, usar carátulas de baja resolución. Por otra parte los valores deben ser presentados de manera precisa, accesible y cómoda, de forma que se obtenga la información de la variable medida lo más rápido y directo posible.

### 3.6 OTROS FACTORES

#### 3.6.1 FUENTES DE ENERGÍA<sup>32</sup>

El propósito de esta sección es mostrar algunos tipos de fuentes y sus características con el fin de determinar la más adecuada a nuestra necesidad particular. Hay muchas posibles fuentes de energía eléctrica para uso remoto. La selección de la fuente de poder óptima requiere consideraciones técnicas, económicas y ambientales. En algunos casos se requerirá de la combinación de uno o más tipos de fuentes como en el caso de un satélite donde se usan baterías recargables en los periodos en que las celdas solares están inactivas. Las fuentes de poder en aplicaciones de telemetría se convierten ocasionalmente en un problema para el diseñador debido a que no se les toma en un principio como un elemento importante del sistema. Seleccionar al último la fuente del sistema de telemetría, puede ocasionar tener que rediseñar por completo el sistema, trayendo como consecuencia perder valiosas horas de trabajo. Por esto se recomienda desde la fase de planeación del sistema tener presente que características de fuente se requieren. Las fuentes se pueden seleccionar de acuerdo a diversos criterios como son las características eléctricas y de capacidad energética, la temperatura de operación, volumen y peso, tiempo de vida, operación continua o intermitente, disponibilidad de otras fuentes de energía como por ejemplo luz solar o tomas de corriente alterna, ambiente de operación, estabilidad y confiabilidad. Una de las fuentes más utilizadas en localidades remotas son las baterías. Las baterías pueden ser usadas en aplicaciones temporales con temperaturas no mayores a 90°C. Existen baterías de muy diversos tipos, pequeñas y ligeras, recargables o hasta encapsuladas sólidamente en resinas epóxicas (con algunas restricciones debidas a que algunas baterías requieren ventilar gases)<sup>33</sup> para enfrentar casi cualquier ambiente donde se haga la medición. Pero las anteriores no son la única fuente de alimentación. Se han mostrado diseños donde la energía es suministrada al sistema de telemetría por inducción electromagnética (ver figura 3.6-2). También uno de los dispositivos que ha logrado mejorar sus características de eficiencia es la fotocelda, por lo que es una opción más en fuentes de alimentación y se usa mucho en satélites. Actualmente, las investigaciones en el campo de celdas de combustible, que son las fuentes de energía química que utilizan el proceso inverso de la electrólisis, se han desarrollado de tal manera que ya podemos contar con este tipo de celdas en automóviles y, recientemente, una versión para computadoras portátiles. A pesar de que desde hace muchos años se han usado en programas espaciales, el hecho de que estén al alcance del consumidor en general, las puede hacer muy útiles para fines de telemetría.

#### Consideraciones al elegir la fuente.

En primer lugar, la fuente que se seleccione debe satisfacer los niveles de voltaje y de corriente que se requieran, así como satisfacer la demanda de energía de los circuitos en el tiempo de vida que se necesite su operación. Sabemos que un sistema operando de manera continua tiene mayor consumo que uno que opera por intervalos, también se debe considerar si el sistema presenta picos de demanda. Las características eléctricas deseables en una buena fuente de alimentación de corriente directa son que proporcione una salida plana sin voltaje de rizo, que sea estable ante variaciones ambientales como la temperatura, y que sea estable también ante variaciones de voltaje y corriente, es decir bien regulada. La estabilidad es muy importante en una fuente de telemetría ya que muchas veces nuestras señales a medir son de muy bajo nivel de

<sup>32</sup> Cfr. Poliiti, Edward Y. "Capítulo 10: Telemetry-System Component Design", en Handbook of Telemetry and Remote Control Gruenberg, Elliot L. Editor en jefe p. 10-79

<sup>33</sup> Bigelow, Stephen J "All about batteries", en Popular Electronics Agosto 1990 p. 57 a 63 y 99

amplitud, lo que las hace muy sensibles a las más pequeñas fluctuaciones en las fuentes de alimentación, por lo que hay que tratar que la fuente de alimentación sea lo más independiente al medio en el que opere. Afortunadamente se encuentran en el mercado diferentes tipos de circuitos integrados reguladores que permiten salidas extremadamente planas y estables. En cuanto al ambiente de operación hay que considerar si la fuente estará expuesta a corrosión, radiación, golpes o cambios de temperatura. En algunos ambientes se tiene que diseñar todo un sistema térmico para regular la temperatura. También hay que tener presente aspectos simples, como por ejemplo, si el ambiente permitirá fácilmente remplazar unas baterías. En ambientes especiales se pueden llegar a encapsular las fuentes en resinas.

Para la rectificación podemos usar diodos o circuitos integrados como el llamado puente rectificador, pero el criterio de selección es con respecto al tamaño que ocupa uno u otro ya que en los sistemas de telemetría se debe optar la mayoría de las veces por la opción compacta. También es deseable que la fuente no introduzca ni permita introducir ruido al sistema en otras palabras que sea filtrada.<sup>34</sup> En esta parte es conveniente usar buenos filtros para que la señal tenga el menor voltaje de rizo y no se introduzca ninguna otra señal del exterior al sistema que pudiese interferir en las mediciones. La regulación es muy importante por la misma razón, ya que variaciones en los voltajes de alimentación pueden ocasionar lecturas erróneas en nuestro sistema de telemetría. Las fuentes de CA deben ser estables en su frecuencia y sus formas de onda.

Las fuentes son uno de los elementos que más volumen y peso ocupan en un sistema, por lo que se debe optar por la opción compacta y ligera. Cuando se usan transformadores en las fuentes, se les agrega mucho peso; las fuentes conmutadas se han hecho muy populares ya que permiten la obtención de diferentes niveles de CD sin la necesidad de un transformador. En algunos casos para obtener diferentes niveles de voltaje de CD a partir de otro voltaje de CD se pueden utilizar redes cambiadoras de nivel. Estas redes son redes sencillas compuestas de una capacitor, un diodo y un elemento resistivo. En la actualidad existen varias opciones según las necesidades, entre estas tenemos los convertidores de CD a CD o de CD a CA los cuales utilizan dispositivos semiconductores para su objetivo. Otra opción para elevar voltajes de CD rectificadas es el uso de circuitos multiplicadores de voltaje. Estos circuitos no son otra cosa que arreglos de diodos y capacitores los cuales pueden elevar dicho voltaje rectificado en varias veces.<sup>35</sup>

Las fuentes son uno de los elementos del que dependen los demás, por esta razón todas las fuentes, y aún más las que operan en ambientes donde es imposible darles servicio, deben presentar un grado alto de confiabilidad es decir no deben fallar. Esto se logra usando componentes de calidad y a su vez con bajo riesgo de fallas. Hasta donde sea posible por razones de espacio, las fuentes deben llevar sus protecciones contra corto circuitos o sobrevoltajes. Si una posible falla en el sistema es crítica se debe usar redundancia o alguna técnica contra fallas, es decir, el sistema debe contar con una fuente alternativa por si una de las fuentes falla. Hoy en día existen circuitos integrados de control que permiten una administración de la energía de la fuente. Un ejemplo de estos circuitos es aquel que determina la cantidad de energía remanente de una batería y controla la recarga. También los hay tales que, por ejemplo, si están lejos del receptor controlan el aumento de la potencia del transmisor y si están cerca disminuyen la potencia de transmisión, esta característica permite una administración eficiente y un ahorro importante en la energía de una batería. Dentro de las fuentes más comunes en la telemetría están:

#### ▪ BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS:

Una de las fuentes de energía más común y más accesible para uso remoto en sistemas de telemetría es la batería. Las familias de las baterías generalmente se distinguen por el tipo de materiales que usan en sus electrodos. Por ejemplo, una batería de carbón-zinc usa carbón como electrodo positivo y zinc como electrodo negativo. Dentro de la misma familia de baterías puede haber más de un tamaño y formas cada una ofreciendo una capacidad diferente de corriente y vida

<sup>34</sup> Boylestad, Robert L. Electrónica Teoría de Circuitos cap. 19

<sup>35</sup> Cfr. Ibid. cap. 2

de servicio. Las baterías se agrupan también en primarias y secundarias. Las primarias no pueden ser recargadas una vez que su reacción química se ha completado, en otras palabras, su energía no puede ser restablecida. Algunos diseños de baterías permiten que la reacción química sea revertida hasta restaurar su energía. Estas son las llamadas secundarias y son recargables. Se tiene también la categoría de las baterías de reserva o de acción retardada. Estas son aquellas baterías cuya reacción química se activa hasta el momento de entrar en operación o poco antes de que esto ocurra. Por ejemplo, las que se activan con agua de mar se usan para equipo oceanográfico. Algunas de las formas de activarlas, según el tipo de batería, son agua de mar, gas, calor, luz, combustible, de forma mecánica o con corriente alterna. Existen numerosos tipos de baterías con características muy particulares para usos muy específicos como la celda de aleación de titanio para temperaturas tan grandes como 80°C, pero con la desventaja de ser muy sensible en su voltaje a los cambios de temperatura; la de indio, que entrega potencia en órdenes de una millonésima de watt, las de Zamboni para altos voltajes y poca corriente (100V en una pila del tamaño de un cilindro de 2.54 cm de alto por 1.25 cm); baterías para -40°C y baterías primarias (no recargables) de electrolito acuoso. Todas las anteriores son sólo unos ejemplos de lo extenso que puede ser el campo de las baterías, el cual sale del propósito de este trabajo; por ello se presenta una guía de diseño con baterías de las familias más usadas y disponibles para el diseñador en el apéndice I.

#### ▪ OTRAS FUENTES:

Además de las baterías, existen otro tipo de fuentes que también pueden representar una opción para el diseñador. Entre ellas están:

##### **Generación termoeléctrica:**

El fenómeno termoeléctrico se ha entendido por muchos años. Se han logrado generadores de 50W operando a 150°C con un peso de 143kg utilizando gas propano o gas natural. En general, la eficiencia de los dispositivos termoeléctricos aumenta conforme la temperatura de operación aumenta. Se han logrado eficiencias de apenas 3% a 600°C usando concentradores solares aunque con los problemas de orientación y de precisión de los lentes y los espejos. Existen generadores de radioisótopo termoeléctrico los cuales se han usado en el espacio en satélites como el Transit 4A lanzado en 1961. Dependiendo de la selección del radioisótopo como material termoeléctrico, el peso específico del generador con salida de 300-400 era de 570Kg/kW a 1,690kg/kW.

##### **Celdas termoiónicas:**

Se basan en el efecto Edison para generar electricidad. Esto es una superficie emisora se calienta hasta que emite electrones los cuales se recolectan en un cátodo. El voltaje se encuentra entre las dos superficies, la emisora y el cátodo, y es tan alto como 1V. Teóricamente la máxima eficiencia es de 50%; la mayor eficiencia es a mayor temperatura. Se han usado generadores termoiónicos solares usando radioisótopos, pero aún más, existen generadores que pueden dar hasta decenas de kilowatts con este mismo principio pero usando como fuente de calor un reactor nuclear.

##### **Baterías Nucleares:**

Las baterías nucleares convierten la energía radioactiva de las partículas o rayos expulsados de núcleos atómicos, en energía eléctrica. Existen varios tipos de los cuales mencionaremos algunos:

##### **a) Corriente Beta:**

Este tipo de batería se conoce como de estroncio 90. Alcanza voltajes de hasta 10,000V pero con corrientes de 50µA. Sus dimensiones son un cilindro de 2.5 cm de alto con 1 cm de diámetro. Este tipo de batería es independiente de la temperatura.

#### **b) Potencial de Contacto:**

Estas baterías usan multiplicación de corriente. Su más común radioisótopo es el tritio. En contraste con la anterior tiene un voltaje de 1V pero una alta corriente producida por efecto de avalancha.

#### **c) Juntura nuclear p-n:**

Usa estroncio 90. Su corriente y voltaje son similares a los de la batería de contacto, sólo que con una vida de pocas semanas.

#### **d) Termojuuntura:**

Se basa en el calor generado por material radioactivo el cual es absorbido por una termopila cercana. Generalmente opera a altas temperaturas para evitar fluctuaciones de voltaje por temperatura usa polonio 210 el cual entrega 0.75V y 21mA, pesa sólo 31g, tiene una vida media de 138 días y su principal defecto es su costo de cientos de miles de dólares. Se han logrado baterías de larga duración de este tipo y se han usado en sistemas de satélite.

#### **e) Juntura fotónica nuclear:**

La energía radioactiva primero se convierte a luz en un material de fósforo. La luz a su vez libera electrones en una juntura fotónica como la de una batería solar. La conversión de energía radioactiva a luz es con 30% de eficiencia, y si a esto le agregamos la conversión luminosa a eléctrica con hasta 10% nos resulta en una eficiencia total baja. Una celda con forma de oblea delgada con un centímetro de diámetro, ha dado 20mW y puede operar a  $-128^{\circ}\text{C}$  por debajo de la temperatura ambiente en un cuarto. La mayor aplicación de esta celda es en relojes de pulso. Su desventaja es que la radiación destruye la juntura y acaba con la vida de la batería.

#### **f) Emisión secundaria nuclear.**

Esta utiliza una superficie sensible la cual al ser bombardeada con partículas beta libera electrones los cuales se recolectan en una superficie insensible. Se obtienen 20V máximo. Las baterías nucleares mencionadas como ejemplo sirven para aplicaciones donde se requiere drenar corrientes pequeñas por periodos largos y aquellas aplicaciones en regiones árticas.

#### **Inducción electromagnética:**

Diversas necesidades han hecho pensar a los ingenieros en alternativas como por ejemplo, en un sistema en desplazamiento o rotacional, se pueden colocar magnetos estacionarios que puedan generar campos que se traducen en electricidad en la parte en movimiento mediante una bobina en el transmisor. Otra manera es inducir con bobinas la energía necesaria para el funcionamiento. La bobina estacionaria puede ser grande, incluso del tamaño de una habitación; a veces sólo se necesita una sola espira. La otra espira en la parte en movimiento puede ser muy pequeña de 1/4 o 1/2 pulgada de diámetro. Este tipo de fuentes de alimentación se pueden conseguir en diseños estándar<sup>36</sup>. Recientemente se han implantado corazones artificiales de titanio cuya energía se obtiene por inducción. En la figura 3.6-2<sup>37</sup> se muestra un sistema de telemetría cardiovascular implantable en perros o monos y alimentado por inducción electromagnética. El anillo grande es el que obtiene la alimentación, el pequeño es del sistema de transmisión, la fotografía trae una referencia de 1cm en la parte inferior.

<sup>36</sup> Hoepfner, Conrad H "Capítulo 71: Telemetry" en The electrical engineering handbook Dorf, Richard C editor en jefe p. 1584

<sup>37</sup> . Miranda, R et al. "An inductively Powered Implantable Multichannel Telemetry System For Cardiovascular Data", en Biotelemetry III, International Symposium on Biotelemetry 3 Pacific Grove Calif 1976

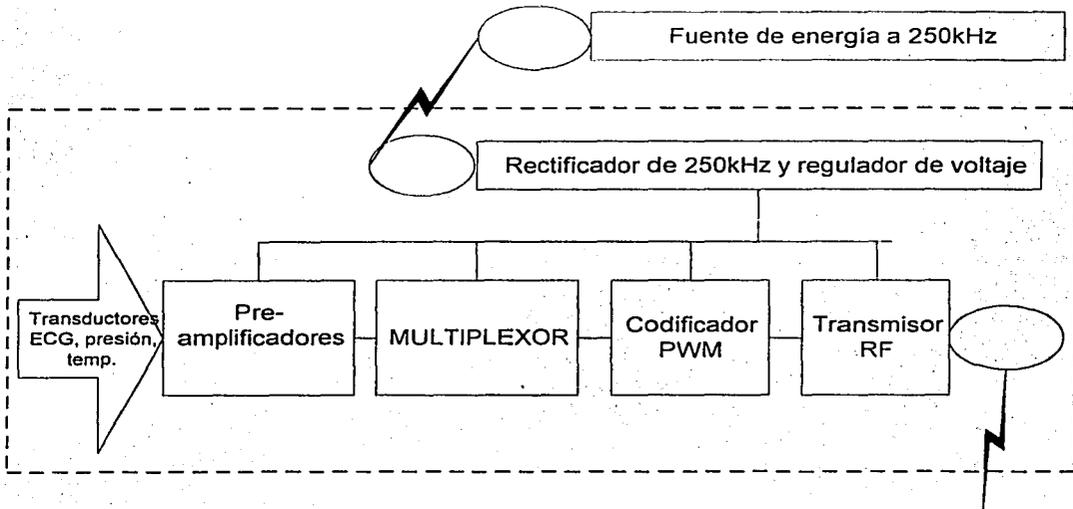
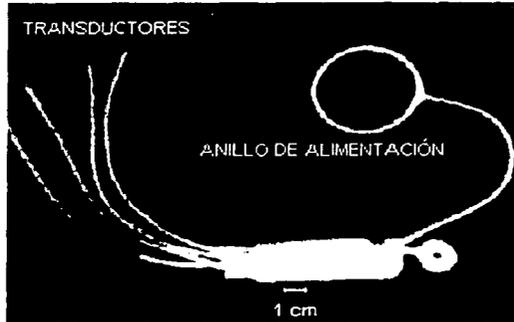


Figura 3.6-2 Sistema de telemetría de alimentación por inducción electromagnética. Foto y esquema.

**Celdas solares<sup>38</sup>:**

La utilización de la energía solar siempre ha representado una opción como fuente de energía y más si consideramos que la densidad de potencia recibida del Sol a nivel del mar es de cerca de  $100\text{mW}/\text{cm}^2$  ( $1\text{ kW}/\text{m}^2$ ). La construcción básica de una celda solar consiste en una unión p-n de silicio, se basa en el principio de que un fotón de energía luminosa haga colisión con un electrón de valencia en la unión y le imparta suficiente energía para abandonar el átomo. Esto ocasiona un flujo de electrones libres y de huecos que se manifiesta en un voltaje y una corriente en las terminales de la celda. Los materiales más usados en la fabricación de celdas solares son el

<sup>38</sup> Boylestad, Robert L. Op. Cit. p 855.

selenio y el silicio, aunque se usa también el arseniuro de galio, arseniuro de indio y sulfuro de cadmio. Actualmente la eficiencia de conversión es de 10% a 40% en el mejor de los casos. La radiación solar en el espacio es 1.4 veces mayor, por lo que las celdas solares son muy usadas en la tecnología espacial. La conversión de energía por celdas solares es entonces una fuente de energía que requiere una mayor investigación y desarrollo para maximizar su eficiencia de conversión. En general, el silicio tiene una eficiencia de conversión más alta y una mayor estabilidad, a la vez que es menos propenso a la fatiga. Ambos materiales tienen características de temperatura excelentes.

La potencia convertida por una celda solar depende de:

a) **La temperatura de operación.** Generalmente, los parámetros de una celda solar se dan a 30°C; por arriba de estos la eficiencia disminuye, a pesar de que la eficiencia aumenta conforme baja la temperatura, a los 10°C es muy poco este aumento y a los -100°C es imperceptible.

b) **La cantidad de radiación incidente.** La variación del voltaje y de corriente a la salida depende de la cantidad de radiación luminosa presente en la celda.

c) **La distribución espectral de la radiación en la celda.** Diferentes materiales con los que se construyen las celdas tienen su mayor eficiencia a diferentes longitudes de onda, siendo la respuesta del silicio máxima a 0.8 micrones, captando el infrarrojo, y la del selenio muy parecida al espectro de la luz visible, por lo que se le usa para mediciones en fotografía como los exposímetros de las cámaras.

d) **El ángulo de incidencia.** En general la potencia convertida es una función coseno del ángulo de incidencia. Ver figura 3.6-3.

Para obtener los valores deseados de alimentación se tendrán que hacer arreglos serie y paralelo. Las celdas conectadas en serie deben exponerse a radiación uniforme para una salida de potencia óptima. También para una conexión en serie, se les puede colocar en forma de tejas. Si la celda alimenta una batería de almacenamiento u otro tipo de carga se debe aislar con un diodo para que en condiciones de oscuridad la batería no alimente a la celda. Es recomendable consultar las especificaciones particulares de la celda que se utilice para determinar la potencia, eficiencia, voltaje, corriente y temperatura de operación. Para dar una idea de los alcances de una celda común un arreglo de celdas de silicio de 30cmX30cm proporciona 8W aproximadamente.

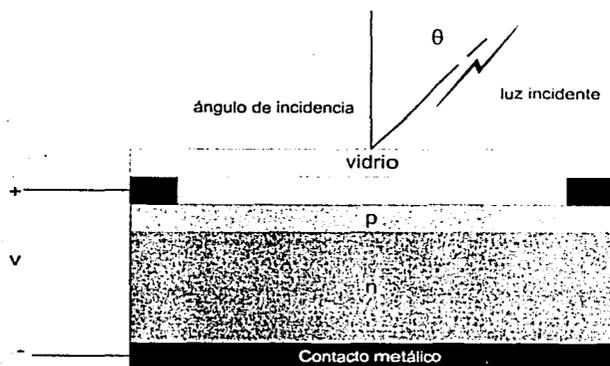


Figura 3.6-3. Estructura de una celda solar y el ángulo de incidencia de la luz  $\theta$ .

### Celdas de combustible:

Son dispositivos que producen energía eléctrica mediante el proceso inverso a la electrólisis. Consiste en un electrolito y dos electrodos especiales por los que se hacen pasar las sustancias reactivas para obtener como productos de la reacción, en el caso del hidrógeno y el oxígeno como reactivos, electricidad y agua. En 1839 mientras experimentaba con la electrólisis Sir William Grove descubrió que este era un proceso reversible; sin embargo no fue hasta 1959 que se uso prácticamente este efecto. A diferencia de las baterías, las celdas de combustión no almacenan energía eléctrica. Los reactivos deben reponerse y los productos deben retirarse constantemente por lo que se le considera no un almacenador de energía, como las baterías, sino más bien un transformador de esta. El hidrógeno y el oxígeno no son los únicos combustibles con los que se puede crear una celda de combustible. En la figura 3.6-4 se observa una celda de combustible de hidrógeno y oxígeno.

Las celdas de combustible diseñadas de manera apropiada, pueden tener una eficiencia de hasta 70%, que es aproximadamente el doble de un motor de combustión. Otra ventaja es que está libre de ruido, vibraciones, transferencia de calor y otros problemas asociados a los generadores convencionales. La principal desventaja está en la dificultad de transportar el combustible generalmente hidrógeno y los catalizadores capaces de funcionar por largos periodos sin contaminarse.<sup>39</sup> Aunque se sigue su investigación y desarrollo, actualmente su principal uso es en la industria automotriz, vehículos espaciales y algunos casos de generación a gran escala como en Santa Clara Ca. E.U, donde hay una planta de 1.8 MW que se basa en este principio. Recientemente se han lanzado prototipos de algunas celdas de combustible para computadora portátil o para teléfono celular que se alimentan de alcohol, celdas que por su tipo podrían ser de relevancia para la telemetría.

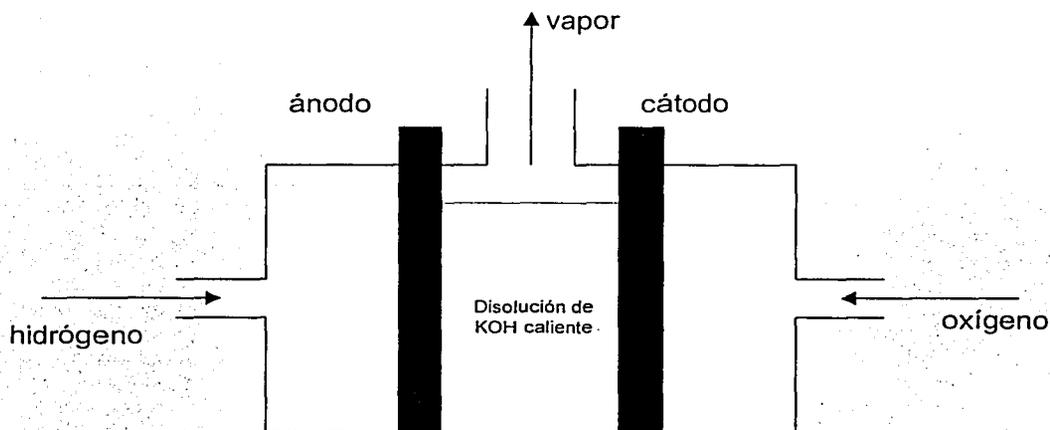


Figura 3.6-4 Celda de combustión óxígeno-hidrógeno.<sup>40</sup>

Hemos visto los principales tipos de fuentes de energía que se pueden utilizar en la telemetría. Como se ha mencionado, la mejor decisión se tomará considerando factores ambientales, técnicos y económicos.

<sup>39</sup> Chang, Raymond Química p. 797.

<sup>40</sup> Ibid

### 3.6.2 AMBIENTES<sup>41</sup>

Lo esencial de los sistemas de telemetría es que una parte del sistema se localiza en un lugar remoto. El interés en éste lugar remoto proviene del hecho de querer evadir el ambiente hostil de éste sitio para realizar las medidas o el control. Como ejemplo de esto, tenemos pruebas de naves aéreas, control remoto de misiles, prueba de reactores nucleares o supervisión de las variables de un satélite. Los sistemas de telemetría y sus componentes deben ser capaces de operar confiablemente en los ambientes esperados manteniendo la integridad de los datos. Los requisitos más fuertes se imponen a sistemas que van a operar en el aire o el espacio. Sin embargo, existen muchos ambientes difíciles en tierra, como desiertos, montañas o el mar. La expansión del uso de la telemetría trae consigo el desarrollo de sistemas y técnicas para ambientes cada vez más difíciles. Existen ambientes donde hay severas restricciones para los sistemas, como en el cuerpo humano, en animales o el interior de máquinas rotatorias como motores y generadores.

El conocimiento de las especificaciones ambientales se establece como el resultado del análisis y la experiencia. Aunque los datos previos con que se cuenten sean insuficientes, se deben usar técnicas de interpolación y extrapolación. Los requisitos de la telemetría de naves aéreas, misiles guiados y vehiculos espaciales, generalmente necesitan un grado alto de simulación y pruebas operacionales utilizando técnicas estadísticas para determinar y verificar la confiabilidad, ante el ambiente, de los componentes y los sistemas. Una vez que se ha hecho la determinación de las peores condiciones ambientales que se esperan, se debe incluir además, un factor de seguridad para proporcionar una tolerancia ante variaciones en la producción y la operación. En general, las condiciones ambientales de operación más severas se especifican en las aplicaciones militares. Las condiciones adversas para los equipos militares incluyen ambientes extremos encontrados en combate, en operaciones tácticas y de vigilancia junto con las condiciones que requieren el transporte y el almacenamiento. Es razonable esperar que los componentes del sistema de telemetría soporten más que otros, las condiciones ambientales, esto es con el propósito de preservar la exactitud y la confiabilidad de los datos para los que el sistema fue diseñado.

Las especificaciones varían de acuerdo a las condiciones particulares de cada caso. Las pruebas, los cálculos y simulaciones se hacen para determinar la operación bajo las más severas condiciones esperadas. Si es el caso, es aconsejable hacer también mediciones del ambiente mientras se está haciendo la telemetría de la variable de interés. Los procedimientos típicos de las pruebas de resistencia a determinado ambiente, pedidas por algún ejército, son llamados especificaciones militares. Estas especificaciones consisten en las condiciones y la secuencia en la que se deben realizar pruebas a los componentes. Las pruebas varían de acuerdo al tipo de ambiente que se esté probando. Además, estas pruebas constantemente se modifican y se deben consultar las especificaciones más actualizadas tomando en cuenta que no siempre son las mismas para todos los gobiernos. El propósito de las pruebas es simular las condiciones ambientales a las que se debe resistir para que salgan a relucir problemas en los componentes y debilidades del sistema. Se ha acumulado una experiencia considerable relacionada con las fallas características; estas se discuten en conjunto con cada tipo de prueba como una clave para el mejoramiento del diseño del equipo. Aquí hay una breve descripción de las pruebas más usadas:

- **Temperatura**

A altas temperaturas los metales pierden su fuerza original, los aislamientos se debilitan, los lubricantes fallan, las dimensiones cambian, los semiconductores fallan, la vida de los capacitores se reduce, las baterías, los lubricantes y los baleros se pegan. La condensación de humedad puede detener baleros y crear ruido en potenciómetros. Cambios bruscos de temperatura, llamados choques de temperatura, pueden destruir acabados y romper sellos. Para las bajas temperaturas, los electrolitos de las baterías se congelan impidiendo la operación de la

<sup>41</sup> Cfr. Politi, Edward Y. "Capítulo 10: Telemetry-System Component Design" Op. Cit. p.10-3

batería y algunos circuitos electrónicos dejan de funcionar, se pueden agrietar y romperse los materiales por los efectos de la congelación. El principal problema en el diseño de equipo compensado en temperatura es la muy amplia gama de variaciones de ésta en la que deben trabajar. Las fallas por temperatura constituyen la principal fuente de falla ambiental.

#### ▪ Impactos

Los impactos se ocasionan por aterrizajes forzosos, transportación sobre terrenos accidentados, fuego de armas, aceleraciones rápidas y una variedad de otras causas. Las pruebas a impactos se hacen con equipo estándar descrito en las especificaciones del gobierno en particular. Las pruebas de misiles trajeron consigo la necesidad de contar con dispositivos cuyo patrón de respuesta a estos esfuerzos fuera preciso y reproducible. El equipo para las pruebas a impactos puede estar basado en el impacto con un martillo bajo condiciones bien definidas. Las pruebas también pueden consistir en dejar caer el dispositivo desde una determinada altura a una cama de arena o acelerarlo en un cilindro neumático.

Las fallas por impactos son en general partes rotas o deformadas. Las fallas en las uniones son comunes. Algunas veces, la estructura de todo un subsistema puede estar deformada o fracturada. Los contactos de escobillas pueden abrirse, los filamentos también se pueden abrir. Los electrodos en tubos de vacío pueden quedar en corto o quedar debilitados estructuralmente. En general, los componentes más pequeños que tienen poca masa son menos sensibles a los impactos.

#### ▪ Vibración

Este es uno de los problemas ambientales más severos para los sistemas de telemetría. Para las bajas frecuencias de vibración se usa una tabla energizada por un motor de velocidad variable. Para frecuencias más altas se usan dispositivos tipo bocina con algo similar a una tabla pegada a la bobina. La potencia es suministrada por una fuente variable y de esta manera se generan vibraciones mecánicas que simulan aquellas que puede encontrar el sistema de telemetría, como por ejemplo, al despegue de un cohete espacial.

Las pruebas de vibración hacen observar fallas en contactos eléctricos como en potenciómetros, relevadores, y dispositivos con escobillas. También hacen observar fatigas en las uniones y miembros salientes, aflojamiento de juntas, fallas intermitentes en contactos, fallas en los puntos de soldadura, desalineamiento y desgaste de los ejes y rodamientos, apertura de conexiones eléctricas y cualquier otra variedad de fallas. Como con las pruebas de impacto, las unidades encapsuladas más pequeñas son más resistentes a la vibración. Se deben evitar las resonancias en lo posible. Los armazones y las cubiertas deben estar lo suficiente firmes. Hay que evitar que esta firmeza resulte de un incremento de la masa o de bajar la frecuencia de resonancia. Los dispositivos contra impacto son ampliamente usados a pesar de que en ocasiones pueden acentuar una resonancia peligrosa. Se debe usar silicona en las esquinas de los subensambles para prevenir de la humedad. Los arreglos contra impacto no sirven de nada en la fase de vibración inducida por un ruido acústico.

#### ▪ Aceleración

Se somete al sistema a diferentes esfuerzos mecánicos de aceleración. Se usan los centrifugadores. Se revisan los mismos aspectos que las pruebas de vibración y de impacto como desprendimiento de piezas, fallas eléctricas de conexión y soldadura, entre otras.

ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA

- **Humedad**

El equipo de telemetría debe estar diseñado y probado para asegurar su funcionamiento confiable bajo condiciones altas de humedad. El control de la humedad debe hacerse mediante calentadores inmersos en agua destilada o rociando agua contra un calentador de cintas o de barra. La humedad debe ser variada generalmente de 5% a 95%. A diferentes grados de humedad se causa corrosión, cambios en las dimensiones y reducción de la resistencia de aislamiento debido a la absorción de humedad. El vapor de agua es perjudicial para los contactos eléctricos y puede crear cortos o circuitos abiertos a través del proceso de corrosión. La acumulación de humedad en líneas hidráulicas puede ser muy seria. La humedad acumulada seguida por una repentina baja en la temperatura, puede causar formación de hielo con resultados desastrosos.

- **Rocío de Sal**

Para simular ambientes marinos, las pruebas se hacen bombeando una solución salina estándar a través de una tobera como neblina en una cámara de rocío de sal. Se impide que las partículas de sal incidan directamente en los dispositivos que se están probando. Lavar el exceso de sal se permite antes de volver a probar unidades que tienen ejes para rotación. El rocío de sal causa una grave corrosión debido a la acción electrolítica y puede atorar los elementos rotatorios, provocar fallas en los sistemas eléctricos y atacar químicamente en ciertos lubricantes. Las técnicas adecuadas de diseño y los acabados apropiados han minimizado la dificultad de lograr los requerimientos de la prueba de rocío de sal.

- **Explosión**

Las pruebas de explosión están diseñadas para determinar si el equipo utilizado puede o no causar una explosión en una atmósfera explosiva. También se examina si una explosión causada externamente puede fragmentar el equipo bajo prueba. Las pruebas de explosión se llevan a cabo en ambientes con alta temperatura. Para estas pruebas se prescriben mezclas de combustibles con concentraciones bajas, intermedias y altas. Las pruebas de explosión son de gran importancia debido a las consecuencias desastrosas que implica no pasar esta prueba. Las chispas en los contactos, en los anillos y en los conmutadores, o hasta las chispas causadas por impacto mecánico entre materiales pueden iniciar una explosión. Los interruptores de corte, fusibles y los relevadores pueden ser los detonantes. La generación de un arco eléctrico por una falla en el aislamiento puede provocar la explosión. La construcción de diseños que permitan que los fragmentos se dispersen por la explosión pueden causar graves daños en un área extensa.

- **Arena y polvo**

La arena y polvo se encuentran principalmente en áreas secas y desérticas. Las pruebas se realizan en cámaras especiales que comprenden un ventilador, conductos y calentadores para generar temperaturas ambientales específicas. Las especificaciones militares definen el tamaño, la composición y la velocidad de las partículas usadas en la prueba. La arena y el polvo son particularmente dañinos para los rodamientos o para los componentes rotatorios y los dispositivos que tienen engranes u otro tipo de partes móviles. Los contactos en relevadores, anillos, conmutadores y contactos en potenciómetros que no estén sellados, son muy sensibles a partículas diminutas de polvo. El mejor diseño para proteger los sistemas es utilizar cubiertas y los sellos adecuados. Para proteger algunos tipos de componentes contra el polvo, puede llegar a ser necesario el sellado hermético o la encapsulación.

- **Hongos**

Las altas temperaturas y la humedad en las áreas tropicales promueven el crecimiento de hongos, los cuales destruyen los materiales y dañan los acabados causando una gran variedad de fallas. Es notable la cantidad de materiales que representan un buen alimento para los hongos. El crecimiento de los hongos puede ser contrarrestado por el uso de materiales resistentes a hongos,

los cuales no contienen nutrientes para estos; también se puede usar una adecuada cubierta resistente a hongos. El equipo se diseña generalmente para resistir hongos por lo que muchas veces la prueba contra hongos frecuentemente se omite.

Las pruebas de hongos son llevadas a cabo rociando sobre el equipo una suspensión de esporas de hongos en agua para después almacenar a 30°C y a un 95% de humedad relativa por 28 días. Los hongos consumen muchos de los materiales estándar de construcción. El problema de la resistencia a hongos no es muy severo debido a que los materiales o las cubiertas resistentes a hongos están disponibles y son ampliamente usadas. Las fallas por hongos usualmente se asocian con algún detalle del diseño que se pasó por alto y el cual puede ser fácilmente reparado. Las fallas por hongos consideradas moderadas pueden llegar a oscurecer placas de datos o puntos de lecturas y arruinar los acabados; mientras que las fallas severas pueden impedir la correcta operación de todo el sistema.

- **Brillo solar**

Las pruebas de brillo solar se componen de la exposición a lámparas con una distribución espectral simulando brillo solar intenso. La energía radiante se aplica de 15 a 19 W/cm<sup>2</sup> en longitudes de onda especificadas manteniendo la temperatura a 45°C. El brillo solar puede ocasionar desvanecimiento de colores, oscurecimiento de vidrios y una legibilidad reducida de medidores, escalas o marcadores. Los semiconductores en particular los fotosensibles se pueden ver influenciados por el brillo solar.

- **Lluvia**

En esta prueba el equipo se sujeta al equivalente de una lluvia intensa aplicando pequeñas gotas de agua, a diferencia de la dispersión del agua que se hace en la prueba de humedad. El equipo se coloca simulando las condiciones en las cuales será instalado. La penetración del agua y el daño resultante son similares a los de la humedad, pero con la diferencia de que es menos difícil cumplir con esta prueba, desde un punto de vista de diseño, que con la de humedad. Generalmente, el agua entra por las aberturas para ventilación. La lluvia es un factor de altísima importancia en sistemas de microondas. En algunas de estas frecuencias, las moléculas de agua resuenan y absorben gran parte de la energía de las portadoras de radio, por lo que se deben seguir las técnicas de diseño de sistemas de radio en microondas y tomar las precauciones necesarias.

- **Altitud e Inmersión**

Principalmente se realizan pruebas de resistencia a determinadas presiones en las que el sistema va a operar. Se revisan fallas en los empaques, sellos y deformación de los materiales.

- **Ambiente espacial**

Los requisitos de los sistemas de telemetría encuentran muchos desafíos en la exploración del espacio, por vehículos no tripulados y luego por vehículos tripulados. Los ambientes de interés se agrupan en los siguientes dominios espaciales:

1. - Terrestre
2. - Hiperatmosférico.
3. - Lunar
4. - Interplanetario
5. - Interestelar
6. - Intergaláctico

El equipo de telemetría exploratorio tendrá que ser desarrollado para operar y reportar en ambientes relativamente desconocidos. Estos ambientes son:

## ▪ Ambiente Atmosférico

Los efectos de las atmósferas se deben considerar en las entradas y las salidas de los vehículos. Durante la salida la turbulencia atmosférica resultará en perturbaciones en el vehículo. La entrada del vehículo en la atmósfera a velocidades relativamente altas resulta en un calentamiento aerodinámico de los bordes salientes. La severidad del calentamiento es más pronunciada conforme la densidad de la atmósfera y la velocidad del móvil se incrementa. Además, la entrada a altas velocidades provoca disociación, ionización y recombinación de los gases atmosféricos que rodean al vehículo; se forma una cubierta de iones alrededor del vehículo, causando que las moléculas del gas tengan un cambio de conductividad y de la constante dieléctrica. La ionización atenúa la propagación de la energía electromagnética y limita seriamente la radio transmisión hacia y desde el vehículo. Esto toma forma de una impedancia de antena modificada, un nivel alto de ruido de receptor y un voltaje de ruptura. En la Tierra existe un estrato natural de la atmósfera ionizado llamado ionosfera el cual ocasiona diferentes fenómenos relacionados con la radiotransmisión. Por otra parte el contenido de vapor de agua en la atmósfera bajo ciertas condiciones puede formar cristales de hielo; aunque improbable, el impacto con el hielo en un reingreso atmosférico puede ocasionar abrasiones. Hay que considerar también las diferentes composiciones atmosféricas de los sitios remotos, ya que algunas de estas pueden ser altamente corrosivas.

## ▪ Vacío

Los ambientes de vacío se incrementan conforme el vehículo sale de un planeta con atmósfera. Los efectos que ocurren en un ambiente de vacío incluyen:

1. - Baja temperatura de ebullición
2. - Arco eléctrico y efecto corona.
3. - Escape de combustibles.
4. - No hay atenuación de las vibraciones como en el aire.
5. - Descompresión explosiva.
6. - No hay calentamiento o enfriamiento por convección

## ▪ Radiación

Afuera del escudo atmosférico de la Tierra, los vehículos se ven sujetos a radiación cósmica y de calor. La radiación cósmica se manifiesta como partículas de gran velocidad. Aproximadamente 80% de estas partículas son protones y el resto, partículas subatómicas. Los sistemas que serán expuestos a radiación deben estar blindados dependiendo de la intensidad y tiempo de radiación, generalmente con las adecuadas capas de metal se puede conseguir esto, pero no es bueno en sistemas donde el peso es una variable muy importante. Con el uso de las fuentes de energía nuclear, cada vez son más frecuentes los sistemas que trabajen en ambientes con radiación. La radiación en los reactores está en forma de protones, neutrones de alta o baja velocidad y rayos gamma. Se han realizado pruebas a resistores, capacitores, semiconductores, tubos de vacío y a materiales magnéticos dando como resultado que los semiconductores son muy susceptibles a daños por radiación, siendo las fotoceldas las más sensibles. Los resistores más afectados son los de carbón en contraste con los de alambre; los capacitores de cerámica, mica o vidrio son menos afectados que los de papel o plástico. Los tubos de gas tienden a ionizarse más. La exposición de los componentes a la radiación varía de acuerdo al isótopo que provoca la radiación. El blindaje del equipo electrónico dependerá del caso particular. En el espacio, el blindaje ligero muestra ser óptimo ya que por ejemplo, los transistores son más sensibles a las partículas de baja velocidad que a las de alta, por lo que menos blindaje en lugar del blindaje perfecto, es mejor. El calor por radiación solar afuera de cualquier atmósfera, es un factor serio en el diseño de equipo espacial. Por ejemplo, un cuerpo gris o negro a la misma distancia del Sol que de la Tierra puede alcanzar temperaturas de 400K.

- **Auroras y Tormentas Electromagnéticas**

La iluminación del cielo en la noche es una manifestación del fenómeno de las auroras que generalmente se observa en latitudes de alrededor de 70°. Las auroras dan la apariencia de un arco o corona brillantes con duración desde una fracción de segundo hasta media hora. La fuente de las auroras se atribuye primariamente a una radiación emitida por el Sol. Al igual que las auroras, el fenómeno de las tormentas electromagnéticas, que son un incremento en la radiación cósmica, provoca severos percances en las comunicaciones de radio en distintas épocas, tanto en el ambiente espacial como en la Tierra.

- **Partículas Sólidas**

Los vehículos espaciales se ven sujetos a colisiones esporádicas con partículas sólidas, por lo que hay que tener en cuenta este factor, que puede convertirse en un impacto por parte de partículas grandes a nuestro sistema, o convertirse en erosión causada por las partículas de menor tamaño.

- **Ruido y ambientes industriales**

Existen ambientes con una presencia alta de ruido. El ruido puede ocasionar que nuestro sistema, si es digital, tenga bits erróneos; si es analógico, el ruido puede ser tan alto que no sea posible distinguir la señal de interés de la del ruido. El ruido puede ser de origen interno, provocado por el movimiento aleatorio de electrones en conductores y semiconductores, o externo, provocado frecuentemente por radiaciones electromagnéticas. Los ambientes industriales son generalmente ambientes muy ruidosos. Las líneas de alta tensión, transmisores de radiofrecuencia, conmutadores y relevadores electromecánicos son causas muy importantes de ruido. Para los sistemas de telemetría, frecuentemente el ruido es la principal limitación en ambientes como el descrito. Para evadir los efectos del ruido es aconsejable evitar al máximo ambientes con alta presencia de ruido; si esto no es posible, se debe usar blindaje que puede consistir en usar cables con malla externa o gabinetes de metal. Otra sugerencia es el uso de filtros adecuados que permitan eliminar todos los ruidos fuera de nuestra banda de interés. La característica de directividad de las antenas puede ayudarnos a evitar ruido en direcciones que no son de interés. Por último tenemos el recurso de aumentar la potencia de transmisión para mejorar las características de tasa de bits en error o de relación señal a ruido. El aumento de la potencia debe hacerse con cuidado ya que existen normas donde se especifica la máxima potencia que puede usarse. Es importante evaluar que nuestro sistema tampoco sea una fuente de ruido para otros sistemas.

A simple vista, la radio telemetría industrial parece ser sólo materia de hardware, a menudo lo es, excepto que los requerimientos funcionales son muy diferentes de aquellos en la telemetría espacial o de misiles. Las distancias son mucho más cortas, de algunos pies hasta algunos cientos de yardas; la potencia de la señal puede ser radiada directamente del circuito transmisor o de una antena tan simple como una pulgada o dos de alambre. Pero sorpresivamente el medio ambiente juega el papel más importante en la telemetría industrial. Hace por mucho, la mayor diferencia entre la operación de la telemetría de misiles y aeronaves y aquella para mediciones industriales remotas. Por ejemplo, mientras el equipo de telemetría de misiles está acondicionado para soportar aceleraciones de 10g a 20g, las aplicaciones giratorias de la telemetría en la industria como sería un transductor dentro de un eje giratorio requiere inmunidad para 10,000 o 20,000 g aceleraciones centrífugas.<sup>42</sup>

Los extremos ambientales bajo los que los sistemas de telemetría industriales deben trabajar son considerados condiciones normales por sus usuarios. A diferencia del equipo de telemetría de misiles, el cual está protegido y aislado de altas temperaturas, golpes y vibraciones y el cual es calibrado semanas antes de ser usado una sola vez en un lanzamiento, los sistemas

<sup>42</sup> Hoepfner, Conrad H Op. Cit. p. 1581

industriales deben operar repetidamente sin ajuste y calibración. Usados a la intemperie, frecuentemente están expuestos a variaciones de temperatura extremas. Deben operar cuando se les sumerge en líquidos helados o calientes, y por esto es casi obligatorio que estén encapsulados en su totalidad para ser impermeables a no sólo a la humedad y al agua, sino también a otros fluidos químicos y vapores.<sup>43</sup>

Adicionalmente al puro aspecto ambiental, en un sistema de telemetría hay otros requisitos que dictan el diseño de los componentes; como ejemplo tenemos: peso, tamaño, potencia disponible y costo, entre otros. El resultado generalmente es un compromiso entre las diferentes consideraciones de diseño por lo que mejorar al sistema en algo, muy probablemente bajará su eficiencia en otro aspecto, por lo que la tarea del diseñador será encontrar el balance entre las diferentes variables que estén involucradas en el problema particular que se desee resolver con técnicas de telemetría.

---

<sup>43</sup> Hoepfner, Conrad H Op. Cit. p. 1581

### 3.6.3 TÉCNICAS DE MINIATURIZACIÓN <sup>44 45</sup>

La actual instrumentación telemétrica está sujeta a limitaciones de espacio, peso y forma en casi todas sus aplicaciones. Una vez más, los desarrollos en este campo se dan en la industria militar, particularmente sistemas que van en bombas, misiles, proyectiles con submuniciones (municiones dentro de otra munición) y otros sistemas de armas tácticas. En la industria militar, la importancia de la tecnología subminiatura, es que viene a solucionar los problemas de costo y diseño que representa modificar un arma o una munición para realizarle pruebas, esto debido a que implica modificar su peso o tratar de alojar un sistema de telemetría en un lugar donde el espacio es una variable crítica. Por ejemplo, se han diseñado sistemas adheribles de bajo costo que contienen sensores, acondicionadores de señal, encriptadores y transmisor dentro de un circuito integrado monolítico. Esto junto con la antena y la batería, resulta en un paquete extremadamente pequeño. Los diseños desarrollados para este propósito son de lo más avanzado en tecnología, desde sistemas híbridos a monolíticos, proporcionando un sistema miniaturizado, más resistente a impactos y de mucho menor costo. La tecnología de subminiatura dio la oportunidad por primera vez de obtener datos de telemetría durante las pruebas en vivo de municiones y submuniciones sin modificar el arma. Históricamente, obtener estos datos sin estas modificaciones era prácticamente imposible. Es muy raro que un arma bajo prueba tenga el espacio suficiente para permitir un sistema colector de datos sin que éste afecte el desempeño del arma. Cada vez será más difícil encontrarnos con el lujo de contar con un pequeño espacio ya que estas armas tienden a ser más pequeñas y con sistemas cada vez más complejos.

Por el lado de los sistemas de biotelemetría, donde un precepto básico es que la medición no altere la variable medida ni al sujeto de estudio, es muy importante la miniaturización. Esto es porque mientras más compacto es un sistema de telemetría menores son las posibilidades de que el sistema de telemetría interfiera con el sujeto. En la figura 3.6.3-1 vemos una cucaracha a la que se le mide su aceleración lineal por medio de un sistema de telemetría con un acelerómetro

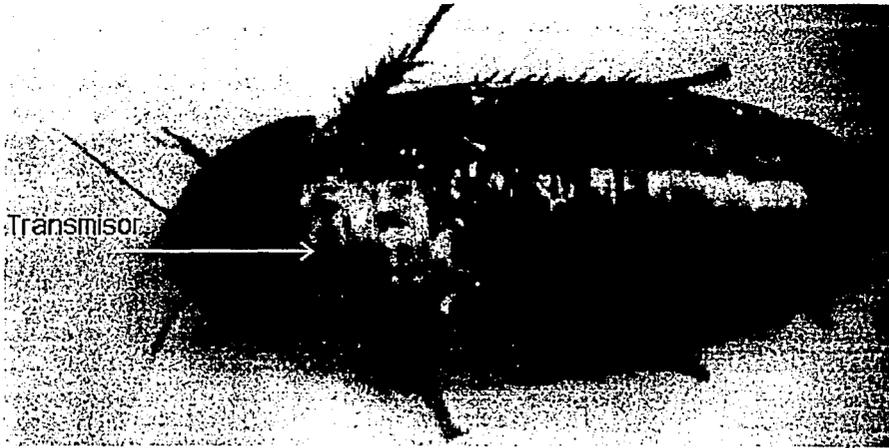


Figura 3.6.3-1 Cucaracha con un transmisor de aceleración compacto. <sup>46</sup>

Con respecto a la radiotelemetría, en la estación receptora no hay comúnmente restricciones para acomodar grandes antenas, sintonizadores de radio sensibles, grabadoras y una fuente de poder amplia; pero la estación transmisora frecuentemente debe ser pequeña, posiblemente del tamaño de una galleta, a veces no más grande que un chicharo y debe ser

<sup>44</sup> Cfr. Ibid. Cap. 10 p 10-69

<sup>45</sup> Cfr. Keller, G.E Jr. "Tecnología Subminiaturizada de telemetría" en International Telemetry Conference 1990.

<sup>46</sup> Mackay, R.S Bio-Medical Telemetry p.218

autosuficiente, llevando su propia energización o quizá recibéndola por radio. Esto nos da una idea de la importancia de la miniaturización en los diseños.<sup>47</sup> La mayoría de los diseñadores de sistemas de telemetría se han encontrado con la necesidad de utilizar técnicas de miniaturización. Las necesidades de la telemetría de misiles y naves aéreas han hecho que se logren adelantos en estas técnicas. El desarrollo de dispositivos de estado sólido ha dado impetu a las técnicas de miniaturización. Las ventajas asociadas a las técnicas de miniaturización incluyen confiabilidad mejorada y el ahorro de espacio, peso y potencia. Un tamaño reducido y poco peso de los dispositivos, simplifican el diseño mecánico del sistema a la vez que se incrementa la resistencia a factores ambientales adversos. También una mayor densidad en los diseños, permite mayores instrumentaciones y controles con las mismas dimensiones que un diseño sin técnicas de miniaturización.

Los elementos que aseguran el éxito de las técnicas de miniaturización son:

### 1. Diseño eficiente de los circuitos.

La miniaturización comienza con un diseño del circuito eficiente donde los componentes, circuitos y materiales que no sean necesarios se eliminan. Los circuitos sencillos y sin redundancias son los más ventajosos. Los diseños deben hacerse optimizados de manera que den la máxima ganancia con las menores pérdidas junto con gran estabilidad. El decremento en el número de fuentes de un sistema repercutirá en la reducción de tamaño del diseño. Se deben investigar nuevos componentes que puedan remplazar a aquellos que sean convencionales pero grandes. Por ejemplo, muchos dispositivos electromecánicos tienen su análogo mucho más pequeño y ligero en semiconductor. En la figura 3.6.3-2 se muestra un diseño de un sistema de telemetría para medir presión intraocular con un diseño eficiente especialmente. Lo que se muestra en la foto es el sistema completo que se adhiere a la cabeza a excepción del transductor que se introduce entre el párpado y el globo ocular.<sup>48</sup>

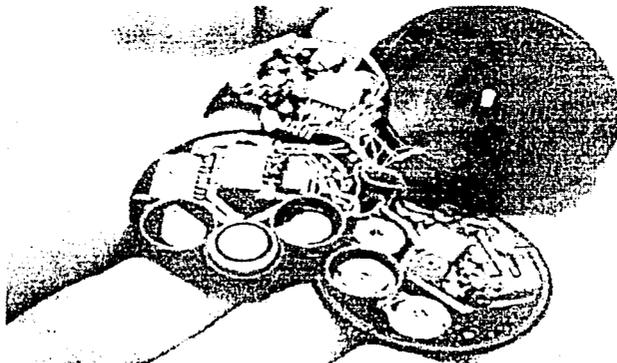


Figura 3.6.3-2 Paquete de telemetría que incluye baterías, transmisor, control de transmisión y procesamiento de señal.

<sup>47</sup> Hoeppepner, Conrad H Op. Cit. p. 1581

<sup>48</sup> Baker, C.D et al. "Telemetry Monitoring of Intraocular Pressure", en Biotelemetry III, International Symposium on Biotelemetry 3 Pacific Grove Calif 1976

## 2. Componentes pequeños.

La consideración primaria en la miniaturización es la selección de los componentes de todo el sistema en su formato más pequeño disponible; obviamente deben satisfacer las condiciones de operación. En general, las fuentes son una de las partes que más volumen y peso ocupan, por lo que es recomendable seleccionar la fuente más pequeña posible pero que sea adecuada en sus características energéticas para nuestro problema. Por ejemplo, existen en la actualidad capacitores, resistores e inductores de tamaños minúsculos, que solo es posible fijar con técnicas de microsoldadura, en la cual una máquina programada realiza puntos de soldadura muy pequeños, en algunas ocasiones en oro o algún otro material, en tiempos y temperaturas programados previamente. No está por demás resaltar que ciertos componentes electrónicos tienen estrictas especificaciones de temperatura, tiempos y tipo de soldadura. Como en cualquier semiconductor hay que tener precauciones con respecto a la electricidad estática.

## 3. Construcción modular.

La construcción por módulos consiste en dividir en grandes bloques el diseño y construcción del sistema y al final interconectarlos.

Las ventajas de usar módulos son:

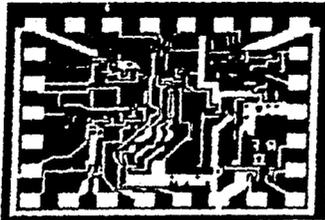
- a) estandarización
- b) intercambiabilidad
- c) mantenimiento rápido
- d) eficiencia volumétrica.

Para saber si es necesario aplicar módulos en nuestro diseño debemos primero analizar lo necesarios que son, lo práctico que resulten y su costo. En general, los sistemas de telemetría que demandan un grado alto de modularización son aquellos que operan continuamente, aquellos donde se obtengan gran cantidad de datos, esos donde el tiempo sea un factor importante, y los cambios frecuentes de algunas partes del diseño. El elemento modular generalmente es estandarizado con respecto a su tamaño, montaje, conexiones y su cubierta exterior. Esto permite el cálculo previo con exactitud del peso y el volumen del sistema para cualquier programa en particular. La modularización permite el intercambio de módulos del sistema con lo cual rápidamente se puede modificar la orientación del diseño. Además, la modularización trae ventajas en la fabricación y ensamblaje en serie. Cabe aclarar que, como consecuencia del rápido desarrollo de los componentes que permiten hacer módulos más pequeños, es muy difícil establecer una estandarización de módulos por periodos largos de tiempo.

## 4. Circuitos integrados.

En la actualidad es posible combinar elementos activos y pasivos en una unidad semiconductora para formar micromódulos con propósito específico. Estas unidades las conocemos como circuitos integrados y se logran aplicando las técnicas de fabricación de circuitos integrados donde, en los últimos años, han habido avances muy importantes. El uso de circuitos integrados en el diseño de telemetría es de gran utilidad para lograr la miniaturización. No se pueden reparar ni ajustar, en caso de falla hay que sustituir el integrado. Cuando el integrado es de propósito específico, generalmente se usa cuando ya se tiene un diseño muy probado y se piensa en la fabricación en serie. De lo contrario, puede incrementar significativamente el costo del sistema. La figura 3.6.3-3 muestra un ejemplo de un circuito integrado usado en un diseño para telemetría.<sup>49</sup>

<sup>49</sup> Davies, R.D. et al. "Integrated Circuits For An Implantable CW Bidirectional Doppler System", en *Biotelemetry III, International Symposium on Biotelemetry*, Pacific Grove Calif 1976.



-----2.4 mm-----

Figura 3.6.3-3 Se muestra toda una sección de RF en circuito integrado de 2mm X 2.4mm.

- **Dispositivos SAW**

Existe una tecnología que ha tenido aceptación en el diseño de sistemas de telemetría. A esta tecnología se le conoce como tecnología SAW (Surface Acoustic Wave). La base de estos dispositivos son las ondas elásticas superficiales que son ondas que se propagan en la superficie de un sólido con pérdidas imperceptibles y a velocidades que permiten frecuencias de operación de 30MHz a casi 1 GHz. Cuando el sólido mencionado es un piezoeléctrico, una onda elástica viajando en su superficie genera una onda eléctrica de manera que sobre su superficie se extiende un campo eléctrico que puede interactuar con electrodos metálicos. Las estructuras de los electrodos se realizan con técnicas de fotolitografía, lo que permite estructuras complejas que derivan en una gran variedad de dispositivos con diferentes funciones de procesamiento de señales. Los dispositivos fabricados con estas técnicas, no sólo realizan con muy buena calidad el procesamiento de señales, sino que también son pequeños, robustos, reproducibles y baratos.<sup>50</sup>

El concepto de un electrodo interdigital de metal (llamado así por su similitud con la forma que se genera al entrelazar los dedos de las manos) en la superficie de un plato piezoeléctrico de bajas pérdidas, y el acceso a la onda superficial viajante entre los electrodos, fue la clave para el rápido desarrollo de dispositivos SAW en sistemas electrónicos. En la figura (figura 3.6.3-4) se observa la estructura generadora, que es el transductor de entrada, el cual consiste en líneas de película delgada metálica sobre una superficie dieléctrica. Esta estructura excita de manera intensa una onda acústica superficial sobre el dieléctrico que se detecta en una estructura similar que es el transductor de salida. La respuesta en tiempo y frecuencia es función de las características geométricas de dichos transductores. Estos dispositivos sirven por igual para la excitación, detección y procesamiento de señales en dominio del tiempo y de la frecuencia. Los dispositivos de onda superficial fueron desarrollados para líneas de retardo, filtros paso banda, filtros acoplados, resonadores y osciladores; rápidamente siguieron filtros SAW para aplicaciones a consumibles en audio y video. Los militares estaban interesados en bancos de filtros contiguos para comunicaciones, electrónica de guerra y la inteligencia de señales para síntesis y división de frecuencias<sup>51</sup>. En la actualidad su uso se ha incrementado en la telemetría como filtros resonantes u osciladores con alto factor de calidad. Son también muy importantes para la telemetría porque son de dimensiones reducidas. Actualmente se consiguen pequeños módulos para transmisión digital que se basan en un dispositivo SAW, y sólo requieren alimentación y conectarles una antena.

<sup>50</sup> Matthews, Herbert Surface Wave Filters p. VII

<sup>51</sup> Hickernell, Fred S. "Surface Acoustic Devices: A rewarding past, a significant present, and a promising future" base de datos de la IEEE

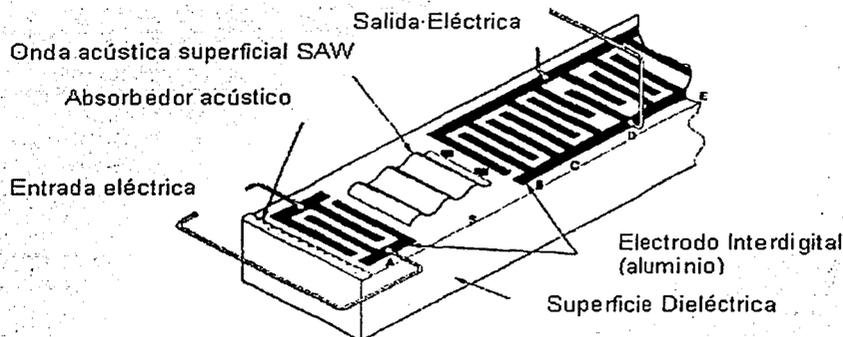


Figura 3.6.3-4 Dispositivo SAW elemental.

### 5. Circuitos impresos.

Una parte muy importante en la miniaturización de los sistemas, es la reducción de los tamaños de las tarjetas de circuitos impresos, esto se hace simplemente haciendo diseños eficientes y lo más compactos posibles. Si las circunstancias lo requieren, se pueden aprovechar algunas técnicas avanzadas de circuitos impresos como el montaje superficial o el diseño en varias capas, entre otras técnicas.

Gracias a los programas de computadora para el diseño de circuitos impresos, es posible la realización de circuitos impresos complicados y con pistas muy delgadas y juntas, así como en varias capas, de una manera eficiente. A esto le podemos agregar las técnicas de montaje superficial, donde los componentes se soldan sobre la superficie de los impresos dejando la otra cara de la tarjeta impresa libre, siendo esto último el contrario de la técnica donde los componentes atraviesan las tarjetas con sus terminales. Por su parte, las técnicas de microsoldadura de gran precisión son de gran ayuda cuando queremos diseños que implique soldar componentes muy pequeños o con terminales muy juntas. Finalmente también están disponibles técnicas de circuitos integrados aplicadas para realizar circuitos impresos. Estas técnicas permiten dejar como parte del circuito impreso, componentes pasivos y activos. Cabe mencionar que en general estas técnicas no permiten rectificar errores en el diseño, ni la reparación y servicio y tampoco permiten sintonización, ya que por el tamaño, en lugar de modificar las pistas o usar puentes se tendría que modificar la tarjeta; además, es prácticamente imposible desoldar componentes. Para este tipo de técnicas hay que considerar el costo de mandar a fabricar los diseños o la inversión en máquinas especiales y costosas. Por lo que se recomienda usarlas cuando los diseños ya fueron ampliamente probados y se piense en una fabricación en serie.

### 6. Encapsulación.

La encapsulación consiste en confinar todo o parte del sistema de telemetría, en un medio que llamaremos cápsula, con el objetivo de protegerlo del ambiente y de restringirlo a un espacio determinado. Las técnicas de encapsulamiento han sido utilizadas a favor de la miniaturización. Las condiciones de operación y el ambiente determinan el tipo de encapsulamiento o recubrimiento que se va a utilizar. Conforme avanza la tecnología de materiales, es más amplia la variedad de materiales disponibles para propósitos de encapsulamiento; por lo pronto, entre los materiales usados para el encapsulamiento sobresalen las resinas epóxicas que tienen ventajas tales como:

- a) Excelentes propiedades dieléctricas
- b) Estabilidad en sus dimensiones.

- c) Adherencia excelente.
- d) Buena fuerza de confinamiento.
- e) Dureza
- f) Resistencia al impacto
- g) Mínima absorción de agua.

Al usar resinas epóxicas debemos tomar en cuenta que tienen un periodo de vida en almacén bajo, baja viscosidad, presentan reacción exotérmica, esfuerzos mecánicos residuales, es decir se expanden o contraen un poco, y finalmente pueden llegar a atrapar humedad. Las mayores objeciones en contra de los encapsulamientos epóxicos son el peso adicional y la imposibilidad de reparar unidades dañadas. También hay que evaluar las restricciones que presentan algunas baterías para ser encapsuladas, esto es debido a que algunas necesitan ventilar gases para su correcta operación. Es muy importante hacer notar que un encapsulado defectuoso usado en sistemas de biotelemedicina puede traer consecuencias fatales. Los encapsulados basados en espuma son más difíciles de lograr debido a su baja viscosidad; estos encapsulados carecen de la rigidez de las resinas epóxicas después de la reacción, pero tienen la ventaja de ser ligeros. La figura 3.6.3-5 muestra un ejemplo de un circuito encapsulado de telemetría de temperatura que se recuperó del tracto digestivo de una iguana.<sup>52</sup>

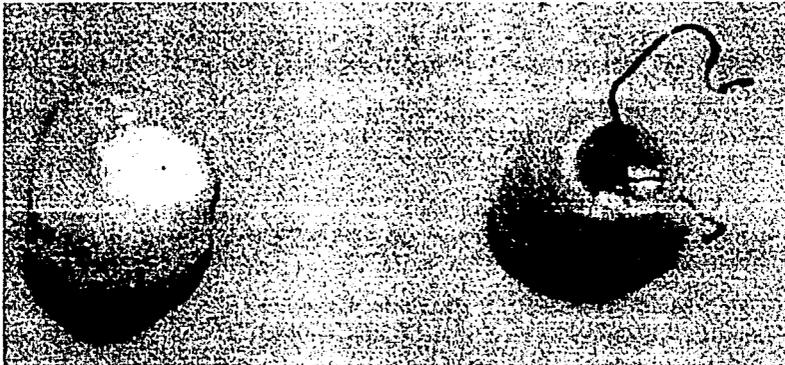


Figura 3.6.3-5 Transmisores ingeribles de 1cm encapsulados en silicón duro.

El proceso de desarrollo de un sistema miniaturizado, involucra de manera general:

a) **El investigar lo más avanzado disponible** en las siguientes áreas: Tecnología de circuitos integrados monolíticos modernos y su aplicación a la telemetría, ya que continuamente se están construyendo CI de propósito específico. Además, investigar lo propio con respecto a los componentes más pequeños disponibles, como semiconductores, circuitos impresos y fuentes. En el campo de las antenas, también es posible hacer un análisis del tipo de antena óptimo y más pequeño posible y que responda a las necesidades de operación. Si se requiere, el diseñador puede auxiliarse de las técnicas de circuitos integrados y de las técnicas avanzadas para circuitos impresos.

b) **Realizar los estudios de los enlaces para determinar los tipos de modulación y las técnicas de acceso múltiple** cuando se requiere medir varios transmisores o múltiples variables; lo cual puede llegar a simplificar tamaños, aunque la complejidad del circuito aumente. Por ejemplo, no es lo mismo, en cuanto a reducción del espacio, que de un sistema salgan 100 hilos conductores, a que con técnicas de acceso múltiple estas 100 mediciones salgan en una sola línea.

<sup>52</sup> Mackay, R.S Bio-Medical Telemetry p.318.

- c) **Diseñar la organización espacial del sistema y el desarrollo del paquete final.** Considerando las técnicas de modularización y encapsulado. El proceso finaliza con las pruebas que concluyen en la demostración del sistema. El desarrollo de la tecnología de integración monolítica de circuitos de radiofrecuencia, las técnicas de espectro extendido y las computadoras modernas son los avances que han permitido el desarrollo de la tecnología subminiatura de telemetría. Estos avances se aplican a varios tipos de sistemas de telemetría y a diferentes circunstancias, desde pruebas cuando las armas están almacenadas, pruebas de cantidad de radiación, pruebas de lanzamiento o hasta llegar a sistemas de biotelemetría. Sin embargo, la revolución de esta tecnología es permitir obtener las señales de datos sin modificar significativamente el sistema del arma, sin interferir con el sujeto o simplemente ajustarse a volúmenes y pesos determinados. La telemetría subminiatura permitirá obtener los datos necesarios para corregir de manera rápida y con menor costo los diseños futuros de armas. Aún más, por el tamaño que representa un sistema así, puede ser incluido dentro del diseño original del arma y su costo será muchas veces menor que hacerle una modificación posterior al arma. Estos sistemas en miniatura pueden dar información acerca de puntos críticos a lo largo de la vida del arma, ya sea en almacén o en operación. Conforme las armas se hacen más pequeñas y sofisticadas la telemetría subminiatura se hace imprescindible para verificar su desempeño.

Para sistemas de biotelemetría, la reducción de tamaños permite realizar mediciones con técnicas menos agresivas y con menos interferencia en seres humanos y animales. En general, los sistemas de telemetría pequeños permiten hacer mediciones en lugares donde sistemas de tamaño grande nunca hubiesen podido alcanzar. De la misma manera en que evolucionan las tecnologías del ámbito militar a las aplicaciones comerciales, ya se usa este tipo de tecnología en investigaciones en el área de la biología y de la industria aeronáutica.

#### 3.6.4 TELEMETRÍA PASIVA<sup>53</sup>

Los sistemas de telemetría pasiva ofrecen algunas ventajas interesantes como por ejemplo, cuando se usan varios sistemas. Estos pueden ser activados en secuencia sólo cuando se va a realizar la medición, con esto se logra evitar una congestión del canal. En aplicaciones médicas de la telemetría, los dispositivos pasivos evitan el riesgo que implica tragar o implantar baterías. La mayoría de los telémetros pasivos son esencialmente una inductancia y una capacitancia acoplada como circuito resonante. Cualquiera de estos componentes puede ser sensible a presión, temperatura, etc. Una bobina acoplada cerca del circuito puede, a través de variar una frecuencia, determinar el punto de resonancia del telémetro el cual es ahora una función de la temperatura, la presión, etc. El sistema de la figura 3.6.3-6 es un sistema de medición de temperatura de ganado, implantado subdérmicamente. El sistema recibe la información de las mediciones con base en el principio de telemetría pasiva.<sup>54</sup>



Fig. 3.6.3-6. Sistema de telemetría pasiva.

<sup>53</sup> Hoepfner, Conrad H Op. Cit. p. 1590

<sup>54</sup> Depp, Steven W. et al. "Short-Range Passive Telemetry By Modulated Backscatter Of Incident CW Carrier Beam", en Biotelemetry III, International Symposium on Biotelemetry 3 Pacific Grove Calif 1976

### 3.6.5 TELECONTROL

La finalidad de los sistemas de telemetría frecuentemente es un circuito de control, pero que se encuentra también en una localidad remota, creándose una realimentación o lazo de telecontrol. Los sistemas de telecontrol son generalmente sistemas que funcionan en conjunción con los de telemetría. Este tipo de sistema no se profundiza en este trabajo porque estos sistemas son objeto de análisis del control, más que de la telemetría.

### 3.6.6 ANTENAS

En los equipos que usan radiotransmisión, las antenas se definen como el elemento que sirve para radiar o recibir ondas de radio. Además de usarse para recibir y transmitir energía, las antenas sirven para optimizar o acentuar la energía radiante en algunas direcciones y suprimirla en otras. Las antenas son tan importantes que un buen diseño en la antena puede relajar los demás requisitos del sistema al mejorar el desempeño total del sistema<sup>55</sup>. Mientras en el pasado el diseño de las antenas puede haberse considerado un problema secundario en el conjunto del sistema, hoy en día juega un papel crítico. De hecho, el éxito de muchos sistemas se sustenta en el diseño y desempeño de la antena. También, mientras en la primera mitad del siglo XX la tecnología de antenas se había considerado casi como de prueba y error, ahora es un arte dentro de la ingeniería. Actualmente, los métodos de análisis y diseño son tales que se puede describir con gran precisión el funcionamiento de las antenas.<sup>56</sup> Los parámetros principales que se deben tener en cuenta para seleccionar una antena son<sup>57</sup>:

#### ▪ Patrón de radiación.

La gráfica del patrón de radiación, es quizá una de las herramientas más útiles cuando se trata de seleccionar una antena, ya que nos indica la forma en como se distribuye la potencia para una antena determinada. Esto es porque la potencia radiada o recibida por una antena es función de la posición angular y de la distancia radial hacia la antena.

A distancias eléctricas muy grandes (muchas longitudes de onda), la densidad de potencia varía  $\frac{1}{r^2}$  en cualquier dirección, donde  $r$  es el radio de la antena al punto de interés. Sin embargo la variación de la densidad de potencia también se determina con la posición angular que a su vez se asocia al tipo y diseño de la antena. El patrón de radiación se puede representar gráficamente en tres dimensiones pero la forma más común es únicamente la representación de los planos principales. El patrón de radiación de recepción y transmisión es idéntico si la antena no contiene materiales o componentes no recíprocos.

#### ▪ Zona lejana.

Esta región lejana de la antena es aquella en la cual las ondas radiadas toman forma de ondas planas. Un criterio común es para establecer el límite es  $\frac{2D^2}{\lambda}$ , donde  $D$  es la máxima dimensión lineal de la antena y  $\lambda$  la longitud de onda de operación.

Generalmente se asume que los patrones de radiación están en la zona lejana de la antena. Cuando trabajamos con antenas es aconsejable trabajar en la zona lejana porque en la zona cercana no podemos garantizar el comportamiento de la antena.

#### ▪ Directividad

Muchas antenas se usan para transmitir la potencia en determinadas direcciones solamente. Una medida cuantitativa de la capacidad de concentrar la potencia en una dirección

<sup>55</sup> Balanis, Constantine A. Antenna Theory p. 3.

<sup>56</sup> Ibid p. 21.

<sup>57</sup> Pozar, David M. Microwave Engineering p. 664.

determinada es la ganancia directiva de la antena. Al máximo valor de esta ganancia directiva se le llama directividad.

- **Eficiencia.**

Como otros componentes, la antena disipará potencia debido a pérdidas en el conductor o en los dieléctricos. La eficiencia de la antena se puede definir como la relación de la potencia total radiada entre la potencia en la entrada de la antena.

- **Ganancia.**

La ganancia de la antena es el producto de la eficiencia por la directividad, y toma en cuenta el hecho de que las pérdidas reducen la densidad de potencia radiada en una dirección dada.

- **Impedancia.**

La antena presenta una impedancia a la carga o al generador al que se le conecte. De manera que un desacoplamiento de impedancia degrada el desempeño de la antena. Esto depende de la circuitería externa que se conecte a la antena.

- **Ancho de banda.**

El ancho de banda útil de una antena se define como el intervalo de frecuencias en el cual la antena cumple con las todas las especificaciones requeridas.

- **Polarización.**

La polarización hace referencia al comportamiento del vector eléctrico de la onda radiada. Las antenas están diseñadas para recibir o transmitir un tipo de polarización de las ondas radiadas. Es importante tomar en cuenta este factor al escoger la antena porque una selección equivocada en lo referente a la polarización puede degradar el desempeño de la señal. Cabe mencionar que algunas antenas pueden usar dos polarizaciones.

- **Tamaño y complejidad.**

Una característica básica de una antena es que para una operación eficiente, su tamaño debe ser  $\frac{\lambda}{2}$  o más. También se tiene que una ganancia de antena mayor sólo puede ser obtenida con un tamaño mayor. Características tales como modificar el patrón de radiación, controlar la polarización, o incrementar el ancho de banda son generalmente obtenidas con una antena más compleja y más costosa.

## TIPOS DE ANTENA.

A causa de la diversidad de características mencionadas y al hecho de que la forma de operación de una antena está muy relacionada con su geometría, se han desarrollado muchos tipos de antenas y de geometrías. Sin embargo, se pueden agrupar en los siguientes grupos:

- **Antenas de alambre.**

Son probablemente el tipo más sencillo de antena y fueron de las primeras en la historia. Los dipolos o los monopolos con plano de tierra tienen ganancias relativamente bajas, pero son fáciles de fabricar, fáciles de alimentar y de poco peso.

- **Antenas de apertura.**

Son sólo secciones abiertas de una guía de onda como por ejemplo tenemos la antena de corneta o la guía de onda cilíndrica abierta. Se usan en microondas y tienen ganancias moderadas.

- **Antenas impresas.**

Es un tipo de antena basado en conductores impresos en un sustrato y son compatibles con tecnología planar de microondas. Operan generalmente en microondas y frecuentemente tienen bajas ganancias. Son útiles en diseños compactos.

- **Antenas de reflector**

Tiene alta ganancia debido a que enfocan la radiación de una pequeña antena alimentadora a un reflector. Debido a la dimensión eléctrica del reflector, usualmente opera en bandas de microondas. Los reflectores son relativamente fáciles de fabricar y son resistentes, pero pueden resultar estorbosos.

Todas las antenas mencionadas son antenas de un sólo elemento. Otra clase de antenas son las llamadas en arreglo, que se forman de acomodar un número de elementos generalmente iguales. Al controlar la corriente y la fase de tales elementos el patrón de radiación del arreglo puede ser controlado en términos de los niveles de los lóbulos de radiación y su posición. Para la selección de las antenas es recomendable también considerar si el sistema estará en movimiento o fijo. Si estará en movimiento, hay que definir sus posibles trayectorias en todas las dimensiones para escoger la característica de radiación adecuada. Otro factor importante es el que se presenta por la obstrucción de objetos entre los puntos de transmisión y de recepción; algunas veces el mismo sujeto portador del sistema causa esta obstrucción, por lo que hay que considerar sus posibles posiciones aún y cuando no se desplace.

### 3.6.7 DISTANCIAS

En telemetría como en cualquier otro sistema de telecomunicaciones las distancias de los enlaces son un factor muy importante en el diseño de los sistemas. Conforme aumentan las distancias de los canales, se incrementan los efectos de atenuación y dispersión. La distancia de los enlaces es uno de los factores que determinan la potencia de transmisión. La distancia también puede ser un motivo para instalar repetidores.

### 3.6.8 CONFIABILIDAD Y ESTABILIDAD

Algunos sistemas dependen por completo de los resultados del sistema de telemetría para efectos de control, algunos otros, como los que se encuentran en aeronaves o sistemas biomédicos llevan la responsabilidad de vidas humanas y otros llevan la responsabilidad de importantes sumas de dinero invertidas en ellos, como el caso de los satélites. Sin embargo, al igual que en los casos anteriores; hasta en la medición más sencilla, pero en un ambiente donde es muy difícil realizar reparaciones, es útil la característica denominada confiabilidad. La confiabilidad nos da una indicación de la calidad del sistema con respecto a las fallas donde el sistema pierde su funcionalidad. En sistemas donde no se permitan fallas es recomendable usar redundancia, que significa duplicar las partes del sistema más propensas a fallas para que una reemplace a la otra en una urgencia. Con esto se reducen las probabilidades de fallas en un sistema. Existen otras técnicas, en el área de control, donde ante una falla, se ejecutan automáticamente algunos procesos en los cuales el sistema puede sufrir una reconfiguración que minimiza los daños de estas fallas. Otra forma sencilla de reducir al máximo las posibilidades de falla, es construir el sistema con componentes de alta calidad. Aunque estos no aseguran una inmunidad a las fallas, si reducen en gran medida la probabilidad de fallas permanentes. Por otro lado, la estabilidad expresa que tan independiente es nuestro sistema ante condiciones inesperadas aunque sean sólo transitorias. Es decir que el sistema no abandone sus límites de operación fácilmente. Para un sistema estable el diseñador debe prever las condiciones en las que el sistema puede salirse de sus condiciones normales de operación y la frecuencia con que ocurren estas variaciones para determinar posibles soluciones. Por ejemplo, se dice que un sistema es estable en la temperatura si es independiente para todo el intervalo de temperaturas que va a encontrar en su operación.

### 3.6.9 TIPO DE OPERACIÓN

Es importante analizar si el sistema transmitirá en forma continua o por intervalos, ya que esto tiene una repercusión en los requisitos energéticos y en cuestiones de sincronización.

Si un sistema transmite sólo durante un intervalo de tiempo al día, demandara muy poca energía. Mientras por el otro lado un sistema que opera las 24 horas enviando señales, tendrá un consumo energético mayor. Por el lado de la sincronización, un sistema de transmisión que opera por intervalos debe contar con un método de sincronización que le permita al sistema recibir la información en el instante en que se transmite. En el receptor se debe considerar el circuito de control de los intervalos de transmisión, esto muchas veces se hace con un reloj y temporizador.

En el aspecto del procesamiento, algunas veces no se puede destinar tiempo del equipo de computo a la espera de mediciones en procesos que duren mucho tiempo; por lo que hay que considerar algunas veces una etapa previa de almacenamiento de datos para luego ingresarlos a la computadora.

### 3.6.10 TIEMPO DE VIDA

Los componentes semiconductores, las baterías, algunos componentes pasivos, las cubiertas y empaques tienen un tiempo de vida finito. La consecuencia de esto es que nuestro sistema tendrá también un tiempo de vida finito. Al planear un sistema de telemetría debe especificarse el tiempo de vida del sistema, o un calendario de mantenimiento si el sistema requiere de servicio, ajustes, inspecciones o reemplazar baterías.

### 3.6.11 ESTANDARIZACIÓN

Siendo los sistemas de telemetría una categoría de los sistemas de comunicación, una de sus funciones es transmitir información. Pero como cada diseñador tiene su idea particular de cómo deben hacerse las cosas, sería un verdadero caos el tratar de establecer comunicación a través de redes establecidas o entre sistemas de telemetría de diferentes. Para que este caos no ocurra, se han hecho acuerdos que permiten una coordinación en las comunicaciones llamados estándares. Los estándares incrementan el mercado de los productos que se ajustan a la norma, lo cual conduce a la producción en masa, a las economías de producción en gran escala y a otros beneficios que disminuyen precios y aumentan la aceptación posterior de este tipo de productos.<sup>58</sup> En un mundo donde las redes de comunicaciones tienen un carácter global, es recomendable para el diseñador de sistemas de telemetría tener en mente que su sistema se ajuste a los estándares y normas vigentes con el fin de que su sistema quede inscrito en el mundo de las comunicaciones globales y pueda interactuar con las redes y sistemas existentes, así como con los futuros desarrollos. Más aún, un sistema basado en estándares es más fácil de ser modificado y de extender sus capacidades. La estandarización también representa una ventaja de tipo económico, ya que es más fácil insertar en el mercado un sistema que se adapte a las normas y estándares y que pueda interactuar con otros sistemas. Como parte de los sistemas de telecomunicaciones, los sistemas de telemetría están sujetos como las telecomunicaciones, a estándares y normas. En las normas podemos encontrar por ejemplo, la máxima potencia de transmisión que las autoridades permiten en un sistema de radiofrecuencia, así como las bandas de frecuencia autorizadas.

Los organismos encargados de establecer las normas y estándares concernientes a la telemetría tienen las siguientes responsabilidades:

- Intercambiar información común en problemas que conciernen a la instrumentación.
- Recomendar la estandarización en instrumentación, equipo, técnicas, métodos, procedimientos y sistemas de coordinación.
- Facilitar el intercambio de equipo y personal entre los diferentes centros de investigación y pruebas así como proporcionar asesoría técnica.
- Facilitar el desarrollo conjunto y la procuración de sistemas de instrumentación y procesamiento de datos.

Actualmente los principales organismos que dictan estándares y que frecuentemente trabajan coordinados son la ITU (International Telecom Union) Unión Internacional de Telecomunicaciones, la ISO (International Standards Organization) Organización Internacional de Estándares y la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Sin embargo, específicamente en el campo de la telemetría existen las siguientes organizaciones:

**International Foundation for Telemetry (IFT).** <http://www.telemetry.org>

Se funda en 1964, y patrocina la International Telemetry Conference (ITC) cada año desde 1965. La IFT ha estado realizando esfuerzos en el ámbito educativo en varias universidades desde 1984. En la universidad de Arizona la IFT beca alumnos para que acudan a la conferencia anual de telemetría.

El propósito de la IFT es promover y estimular el crecimiento técnico en el campo de la telemetría y en las ciencias y tecnologías relacionadas. Esto se hace por medio de

<sup>58</sup> Tanenbaum, Andrew S. Redes de computadoras p.67.

promover foros técnicos, actividades educativas y publicaciones técnicas. La IFT está por la unidad, la ética y un mayor esfuerzo coordinado entre los profesionistas del campo.

**Range Commanders Council (RCC).** (Consejo de comandancias de campos de pruebas.) <http://jcs.mil/RCC/index.htm>

En 1951 los distintos campos de pruebas trabajaron juntos para formar la Range Commanders Conference. En 1963 se le cambió el nombre que es el actual. El RCC fue formado para:

- Resolver los problemas comunes.
- Discutir los temas comunes a los distintos campos de pruebas en un foro organizado.
- Intercambiar la información para evitar la duplicación.
- Conducir actividades conjuntas de investigación, diseño, desarrollo y pruebas.
- Desarrollar estándares y procedimientos.
- Favorecer el intercambio técnico.

En 1993 había 15 campos de pruebas que son miembros permanentes del RCC. Estos miembros aportan dinero para cubrir los gastos de la organización.

#### **Inter-Range Instrumentation Group (IRIG)**

Es el grupo de telemetría del RCC que mantiene los estándares de telemetría que usan los miembros del RCC. Estos estándares se conocen como los estándares IRIG. Debido a que la mayoría de los centros de pruebas se adhieren a estos, generalmente se aceptan a lo largo de toda la industria de la telemetría. El documento IRIG 106 Estándares de Telemetría contiene la mayoría de los estándares usados en la industria de la telemetría. En su mayor parte el IRIG 106 cumple los estándares militares "MIL-STD" o "MIL-SPEC". Por último no debemos olvidar que en el presente "la estandarización es la clave de la compatibilidad"<sup>59</sup> entre los diferentes sistemas.

---

<sup>59</sup> Rosen, Harry H. "Capítulo 12: Data Reduction", en Handbook of Telemetry and Remote Control Gruenberg, Elliot L. Editor en jefe p. 12-40

### 3.6.12 LIMITACIONES DE LA TELEMETRÍA<sup>60</sup>

Los temas anteriores se refirieron a un número de requisitos y características que tienen los sistemas de telemetría. Desafortunadamente, el desarrollo de la telemetría no ha sido el suficiente para satisfacer todos los requisitos, y en muchos casos, el sistema de telemetría limita seriamente la medición. Hay entonces un compromiso entre las capacidades del sistema de telemetría y los requisitos de la medición a realizarse. Los contratiempos y limitaciones de los sistemas de telemetría ponen restricciones a las mediciones por encima y por debajo de aquellas encontradas en laboratorio, cuando no se está usando ningún sistema de telemetría. En primer lugar se requiere en la mayoría de los casos, una salida eléctrica adecuada desde el dispositivo medidor, para que pueda ser transmitida por el medio deseado. Consecuentemente se requieren transductores que cambien la energía de una forma a otra de manera que pueda ser transmitida. También los sistemas de telemetría no son estables perfectamente. Es decir se debe lidiar con los efectos de oscilaciones en las fuentes y los efectos de desviación en la frecuencia en las etapas de modulación. El sobremodulado o el sobremultiplexaje puede afectar los canales adyacentes, así como producir datos erróneos en el mismo canal.

La medición de un gran número de parámetros diferente, requiere equipo más costoso y voluminoso a menos que las señales que se vayan a medir se combinen en grupos o entradas similares para minimizar el acondicionamiento de señal requerido. En general es preferible tener un transductor estándar más que tener un transductor particular para cada medida.

El sistema de telemetría es en general el que determina el ancho de banda de la medición, teniendo un mayor ancho de banda a medida que la portadora sea de mayor frecuencia. En los sistemas que así lo requieran, el ancho de banda de la medición no debe superar las restricciones de ancho de banda de la subportadora o las bandas laterales aparecerán en canales adyacentes reduciendo la precisión de otras mediciones si se está multiplexando, o también podría interferir con canales adyacentes. En los sistemas de multiplexaje hay que tener presente el criterio de Nyquist, ya que si no se satisface que la velocidad de muestreo sea al menos en teoría dos veces la máxima de los datos, perderemos datos entre las muestras que estamos tomando. Si el muestreo no es regular, las dificultades para desmultiplexar se magnifican. Por otra parte en sistemas donde el tiempo en que ocurre una medición es crítico, usar multiplexaje en el tiempo trae una ambigüedad a la medición que se traduce en una limitación debido que no podemos tener la precisión en el tiempo entre una muestra y otra. La forma de grabar los datos es también una limitación de la medición. En general se desea tener la historia de todas las medidas hechas. En este caso la velocidad y el espacio que se disponga para la grabación es un limitante.

---

<sup>60</sup> Hoepfner, Conrad H Op. Cit. p. 1585

## CAPITULO 4: TENDENCIAS A FUTURO.

### LA TELEMETRÍA DEL SIGLO XXI<sup>61</sup>.

La telemetría comprende diversas áreas de la tecnología y desde su inicio ha incorporado los adelantos de las diversas ramas de la ciencia y la tecnología. Esta sección es para esbozar un panorama de las tendencias actuales más avanzadas que permiten prever lo que será el futuro de la telemetría en cuanto a las novedades técnicas de las que se auxiliará y en lo referente a las principales actividades donde será requerida.

Los sistemas de adquisición de telemetría del futuro deben ser capaces de seguir varios objetos al mismo tiempo. Deben estar aptos para dar la localización precisa y deben tener la capacidad de operar remotamente sin ninguna clase de mantenimiento. Un ejemplo de esto son los sistemas de adquisición de datos multitrayectoria, como el existente Multiple Object Tracking Radar (MOTR) en E.U, los cuales pueden servir de modelo para sistemas de rastreo del futuro. Una red de cuatro de estos sistemas puede soportar los escenarios más complejos de pruebas incluyendo múltiples misiles y naves. El uso de arreglos de antenas de haz amplio puede también permitir excelente cobertura para pruebas con múltiples objetos.

Los sistemas existentes de recepción de telemetría pueden proveer buen servicio en el futuro al usar la demodulación y grabación centralizada. Las diversas salidas de RF de las antenas desde sitios remotos, en los que no haya supervisión humana, se pueden multiplexar en un solo canal (como en TV por cable) y llevarse por fibra óptica u otro medio de manera analógica a una central donde se demodulen. Esta central puede hacer las grabaciones de datos encriptados y sin encriptar. Estos datos pueden ser encaminados a un centro de datos telemetría para su desmultiplexaje descriptación y reducción. La tecnología de fibras óptica con anchos de banda de Tera Hertz será un canal muy importante para los sistemas de telemetría.

Los formatos futuros de la telemetría requerirán velocidades de datos altas debido al incremento de los requisitos de cantidad de información, resolución y la necesidad de seguridad en los datos. Como ejemplo de las áreas cuyo avance tendrá más efecto en los sistemas de telemetría tenemos:

#### **Grabación.**

En la actualidad se cuenta con discos ópticos y discos magnéticos de altas densidades. Se espera que la telemetría sea grabada en discos ópticos en mayor medida que ahora. Otra modalidad son los sistemas en los que se realiza la medición y se almacena la información en memorias electrónicas para su posterior descarga en una computadora.

#### **Conversión Analógica a Digital y Digital a Analógica.**

Muchas señales están en forma analógica y necesitan ser digitalizadas con el propósito de poder conmutarlas sobre sistemas de microondas o de portadora óptica. Las señales de telemetría que fueron digitalizadas pueden ser procesadas en su forma digital para posteriormente, si se requiere, convertirlas en señales analógicas para su exhibición. Para esto la tecnología de convertidores seguirá sacando al mercado convertidores de mayor velocidad y de mayor número de bits. De la misma manera, los encontraremos cada vez más en forma integrada junto con transductores y acondicionadores de señal.

#### **Multiplexores y Desmultiplexores.**

Los multiplexores se usan para que varias señales compartan un mismo canal. Hoy en día se cuenta con multiplexores ópticos y electrónicos de alto orden con capacidades de cientos de MB por segundo, los cuales pueden ser usados en conjunto con las actuales fibras ópticas. También

<sup>61</sup> Cfr. Montano, William G. Et al. "Twenty-First Century Telemetry", en International Telemetry Conference 1990.

se observa la tendencia a usar técnicas de espectro disperso (spread spectrum) para las comunicaciones en sistemas de acceso múltiple.

#### **Controladores Analógicos.**

Los controladores analógicos son necesarios cuando se requiere transportar de manera analógica señales de telemetría de ancho de banda grande desde antenas remotas a centrales de procesamiento.

#### **Automatización de datos y seguridad.**

Todos los diseños de telemetría en el futuro deben ser capaces de hacer uso del control automatizado. Todos los sistemas deben de procurar ser idénticos para simplificar los requisitos de software. Y todos los sitios deben estar enlazados por enlaces de dúplex para permitir una realimentación.

Las fibras ópticas impenetrables son ideales para relevar datos de telemetría digital o analógica clasificados. Los datos de señales PCM son fáciles de manejar debido a que los datos permanecen encriptados hasta que se tengan que desmultiplexar. En la actualidad se cuenta con técnicas de encriptación muy novedosas si se desea mantener la confidencialidad de la información.

#### **Fuentes**

Se espera contar con fuentes de mayor densidad energética y con sistemas de control de potencia que administren en forma óptima la potencia suministrada.

#### **Antenas adaptables**

Se han realizado amplios estudios de antenas que cambian sus características de radiación como una respuesta a las condiciones de operación del sistema y de las características de la red con aplicación a la telemetría. También siguen las investigaciones de arreglos de antenas, los cuales son un conjunto de antenas trabajando como un sistema, permitiendo lograr características de radiación muy útiles.

#### **Telemetría Global**

Como ejemplo de esto está una estación terrestre que conmuta señales de televisión y video del Centro de Vuelo Espacial Goddard al Centro Espacial Johnson para soportar las misiones de transbordadores espaciales. Una estación terrestre permanente puede también proveer datos hacia y entre diferentes centros.

El uso de las redes globales como Internet o la red telefónica, las constelaciones de satélites y todo tipo de redes, se convertirán en herramientas comunes para la telemetría. Por ejemplo, hoy en día se realizan estudios de migración de ballenas que comprenden mediciones en distintos océanos y que se llevan a cabo usando la red satelital.

#### **Materiales.**

Las continuas investigaciones en materiales constantemente traerán avances para los sistemas de telemetría al enfrentar los distintos ambientes. Estas mejoras se traducen por ejemplo en mejores aislantes térmicos y eléctricos, encapsulados y cubiertas protectoras.

#### **Electrónica.**

Los avances en la electrónica siempre tendrán relevancia en la telemetría pues permiten circuitos más rápidos y de mayor escala de integración. Esto permite grandes avances en el campo de la miniaturización y en las velocidades de transmisión y procesamiento de las señales. Los avances en la electrónica logran computadoras personales, microprocesadores y procesadores digitales de señal más rápidos y de mayor capacidad. Se están realizando investigaciones para superar las velocidades electrónicas que permitan alcanzar las velocidades ópticas. Existe una gran investigación para lograr sistemas de gran capacidad completamente ópticos que se integren de amplificadores ópticos, conmutadores y multiplexores ópticos en su totalidad, así como para

lograr computadoras basadas en impulsos ópticos. Es evidente que estos desarrollos revolucionan las comunicaciones y esto incide directamente en el campo de la telemetría.

#### **Procesamiento.**

Los avances en este campo serán muy importantes haciendo uso de arquitecturas de cómputo y de redes avanzadas con software especializado y accesible. Un ejemplo de esto es el procesamiento distribuido que se hace de mediciones astronómicas en computadoras personales.

#### **Biotelemetría.**

Esta es una de las ramas de la telemetría que tendrá mayor auge y se orientará principalmente a la telemedicina y al deporte. Sus principales avances serán para dar la capacidad de hacer mediciones fieles en formas no invasivas y de menor riesgo para los sujetos. Usará técnicas de telemetría pasiva, inducción de energía, miniaturización, procesamiento de imágenes y sistemas en red.

#### **Sensores.**

Los avances en los sensores seguirán siendo en lo relacionado a su estabilidad, a la forma de entregar su medición y además en cuanto a su tamaño. La tendencia es a la integración de sensores con otros componentes. Por ejemplo, integrar sensor, amplificador operacional, convertidor analógico digital y memoria para grabar miles de muestras en un mismo circuito integrado.

### **CAMPOS DE UTILIZACIÓN DE LA TELEMETRÍA<sup>62</sup>**

Aunque no son del todo novedosas algunas de estas actividades, son sólo algunos de los ambientes junto con las tareas donde se necesitarán los mayores esfuerzos en la ingeniería en telemetría. Estos son:

#### **El espacio:**

Ensamblado, reparación y mantenimiento de sistemas orbitales y estaciones espaciales. Desarrollo de instalaciones espaciales. Exploración espacial. Investigaciones astronómicas. Misión a Marte.(Fig. 4-1)



**Figura 4-1 Foto de Marte y vehículo Sojourner. Las misiones a Marte son de los proyectos de telemetría más importantes.**

#### **El océano:**

Construcción de instalaciones permanentes en el océano.

Desarrollo de campos petroleros muy profundos.

Explotación de minas debajo del mar.

<sup>62</sup> Gruenberg, Elliot L editor en jefe Handbook of Telemetry and Remote Control cap 15 p. 15-169

Rescate de barcos y de tripulaciones de submarinos. (Fig. 4-2)



Figura 4-2 Rescate del submarino nuclear Kursk.

**Ambientes radioactivos:**

Operaciones científicas en laboratorios con reacciones activas.

Procesamiento de combustible y cambio de éste en reactores. (Fig. 4-3)

Ensamble y mantenimiento de equipo alimentado por energía nuclear.

Rescate en ambientes contaminados.



Figura 4-3 Cuarto de control de central nuclear.

**Ambientes industriales:**

En mantenimiento de hornos de alta temperatura. (Fig. 4-4)

Procesos de alta temperatura como el esmaltado.

Operaciones en minas y túneles.

Mediciones en sistemas de alto voltaje.

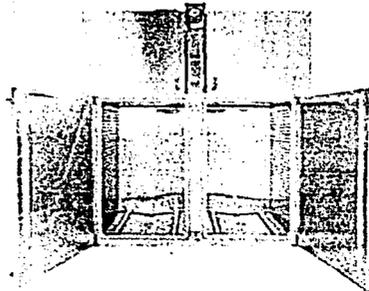


Figura 4-4 Horno industrial.

**Otras áreas:**

Desarrollos militares. (Fig. 4-5)

Seguridad pública y privada.

Prevención de desastres.

Tráfico en redes de telecomunicación.

Investigaciones biomédicas y biológicas.

Medicina.

Deportes.

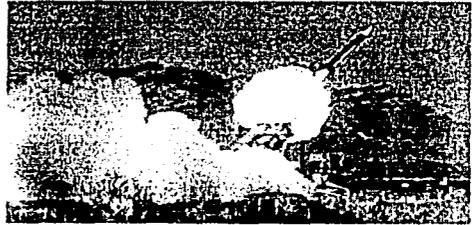
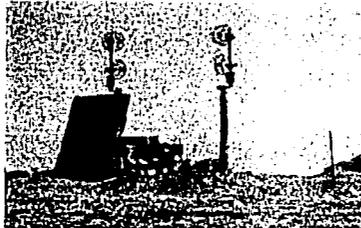
Todo tipo de investigaciones en ecosistemas como preservación de especies.

Supervisión de volcanes, fallas geológicas y sismología.

Todo lo relacionado al clima.

Combate a incendios.

En toda actividad que represente un riesgo para los humanos.



**Figura 4-5 Telemetría y control de sistema de misil Patriot.**

## CONCLUSIONES

Podemos observar que la investigación realizada arrojó como resultado un manual donde se tocan los principales aspectos que, un diseño o un análisis de este tipo de sistema, requiere. El principal esfuerzo consistió en conjuntar la información que en general se encuentra dispersa. Por otra parte, observamos que la telemetría es un área poco desarrollada en México.

Muchos de los temas del manual son susceptibles de tocarse con gran profundidad en volúmenes completos; sin embargo, consideramos que se logró con éxito contextualizar estos diferentes temas en ámbito de la telemetría. Si lo anterior no fuese suficiente siempre queda la oportunidad, para el lector que desee profundizar, que esta obra le represente una recopilación de referencias a fuentes relacionadas con la telemetría, es decir, esta obra debe verse también como una reseña de investigación bibliográfica del tema.

Es importante señalar que a lo largo del manual se evita particularizar en ejemplos de sistemas, soluciones muy específicas, marcas comerciales o tecnologías del momento; por el contrario, se da una preferencia a lo esencial de cada tema, a aquello que aunque evolucionen las tecnologías siga siendo fundamental. Esto trae como consecuencia que el presente manual tenga mayores probabilidades de permanecer vigente en un mundo donde la rapidez con la que evolucionan las tecnologías es vertiginosa.

Esperamos que como resultado final, se tenga una obra que pueda resultar de gran utilidad a ingenieros y técnicos cuando se vean involucrados en la resolución de problemas de telemetría.

Una etapa posterior a la elaboración de este trabajo, es aquella en la que se pueda evaluar su alcance práctico y los pormenores que se presenten al desarrollar sistemas de telemetría con este manual como una guía de diseño.

Sugerimos trabajos subsecuentes a éste, que siendo dirigidos por este manual, sirvan como una realimentación para perfeccionar esta obra.

Consideramos que con sus debidos ajustes y con la evaluación de proyectos realizados con base en este manual, esta obra invita a seguirla desarrollando para su futura publicación como libro.

## APENDICE: Diseño con Baterías<sup>63</sup>

Diseñar con baterías es un procedimiento simple y directo, pero hay que considerar muchos factores importantes que pueden mejorar dramáticamente la vida de las baterías y su desempeño en el proyecto. Para esto debemos conocer sus principales tipos y características.

### BATERÍAS PRIMARIAS:

Las baterías primarias no pueden ser recargadas una vez que su reacción química se ha completado, en otras palabras, su energía no puede ser restablecida. Entre las principales familias de esta clase están:

#### La familia de **Carbón-Zinc**:

Estas son comúnmente llamadas celdas de Leclanche debido a que han permanecido sin cambios desde que George Leclanche la desarrollo hace 120 años. Son baterías de muy bajo costo, fáciles de usarse y con alta disponibilidad de tamaños y formas. Se usan en aplicaciones con requerimientos ligeros de potencia como juguetes, cámaras o radios. Gracias a que el cloruro de zinc contenido atenúa la reacción cuando no esta en operación, no se carcome el contenedor de zinc y se evitan derrames del electrolito; con esto a su vez se logra que estando la batería almacenada tenga una retención de carga hasta por dos años. El grado de descarga de estas baterías depende de la carga que mantengan. La temperatura es otro factor importante ya que temperaturas extremas de 43°C secan la humedad del electrolito, y sin esta humedad se dificulta el flujo de electrones y de iones positivos ocasionando que la actividad de la batería desaparezca. Debajo de los 17°C el frío extremo disminuye la reacción y elimina la actividad de la batería. A pesar de que hay cierta técnica de revitalización, nunca se debe tratar de recargarlas.

Una variante de esta familia son las celdas de cloruro de zinc también llamadas de alto desempeño o conocidas también como "heavy duty". Cambios en la estructura del cátodo y el electrolito permiten a la batería entregar más corriente por tiempo más largo. Estas cuestan más que las carbón-zinc pero pueden entregar hasta 50% más de energía especialmente bajo demandas grandes de corriente. La vida en almacén puede exceder los tres años. Siendo el electrolito de estas también sensible a las altas temperaturas, son mucho más sensibles a las bajas temperaturas que las de carbón-zinc. Temperaturas tan bajas como -6°C pueden reducir la reacción química de la batería y reducir adversamente su desempeño. A diferencia de las de carbón-zinc la humedad del electrolito se usa durante la vida de la batería y se seca conforme la batería envejece por lo que no tiende a derramarse. Pueden revitalizarse por medio de técnicas muy específicas, por lo que nunca se debe tratar de recargarlas por medios convencionales. Aunque se pueda revitalizarlas en cierta medida nunca recuperarán su capacidad original.

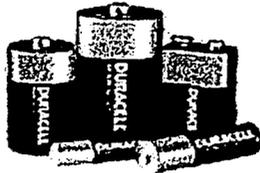
#### La familia **Alcalina**:

Estas ofrecen ventajas significativas sobre la carbón-zinc y la cloruro de zinc. Una construcción y una química radicalmente distinta permiten entregar una capacidad de hasta 10 veces mayor que las de carbón-zinc. Esta característica las hace excelentes para dispositivos que requieren altas corrientes por periodos prolongados de tiempo como en proyectos con pequeños motores o lámparas de alto brillo. El alto volumen de electrolito que contiene le permite tener una vida en almacén en la cual retiene un 90% de su capacidad por dos años y hasta un 80% de su capacidad por 4 años. Las celdas alcalinas se descargan mucho más despacio que las celdas de carbón-zinc bajo las mismas condiciones de carga. Las celdas alcalinas son también mejores a temperaturas extremas. Trabajan bien arriba de -17°C y tan alto como 43°C sin arruinar el electrolito. Esto es porque la celda está contenida en una especie de lata de acero que retiene la humedad del electrolito mejor que los contenedores de zinc. Las baterías alcalinas no pueden ser rejuvenecidas o revitalizadas. Tratar de hacerlo o de recargarlas ocasionará que la batería explote. Son más caras que las carbón-zinc y las cloruro de zinc pero vale la pena por su capacidad extra

<sup>63</sup> Cfr. Bigelow, Stephen J "All about batteries", en Popular Electronics Agosto 1990 p. 57 a 63 y 99

de energía y su capacidad para trabajar en ambientes más rudos. Además su costo ha venido decrecentándose desde su invención hace 30 años.

Aunque constantemente se investigan nuevos tipos, las dos familias anteriores están disponibles principalmente en 1.5 V tamaños D, C, AA, AAA, N; 9V rectangular y 6V para linternas.



**Figura A-1 Baterías alcalinas.**

#### Familia de baterías de Mercurio.

Las celdas de mercurio también conocidas como celdas de óxido de mercurio, proveen un voltaje casi constante a lo largo de toda su vida. Son ideales para cualquier proyecto de baja corriente que requiera un voltaje constante como relojes, calculadoras y fotómetros. Las celdas de mercurio se fabrican típicamente en forma de pequeños botones o pastillas. Pueden proveer 1.35 V o 1.4 V a los circuitos dependiendo del tipo de celda.

Las celdas de óxido de mercurio con electrolito de hidróxido de sodio pueden entregar cerca de 150  $\mu$ A mientras que con electrolito de hidróxido de potasio se generan hasta 2 mA. Las celdas de mercurio deben operarse sobre el punto de congelación y nunca deben ser expuestas a temperaturas por arriba de 43°C por largos periodos de tiempo. A pesar de que tienen una densidad de energía alta, su construcción y su química las hace más susceptibles a la temperatura que las alcalinas. Nunca se trate de recargarlas porque explotan fácilmente si esto se intenta.

#### La familia de baterías de Litio.

Las celdas de litio también conocidas como celdas de litio-dióxido de manganeso son ampliamente usadas para proporcionar potencia en muchas tecnologías como relojes, calculadoras científicas, respaldo de memorias y en usos militares. Su química especial permite una autodescarga muy lenta por lo que su vida en almacén es de hasta 5 años. Las celdas de litio pueden ser manufacturadas en una amplia variedad de formas y tamaños, pero es muy común encontrarla como un botón plano. La reacción química se mantiene a través de un electrolito de perclorato de litio suspendido en carbonato propilénico, lo que trae como consecuencia que el electrolito esté virtualmente seco y como resultado la batería tenga un intervalo de operación arriba de -28°C hasta más de 48°C. Debido a la naturaleza sensible de los materiales las celdas de litio deben ser ensambladas en una atmósfera de gas inerte como argón puro. El voltaje a circuito abierto de la batería de litio es de 3.0 V y permanece constante a lo largo de la vida de la batería. Aunque una celda de litio no puede proveer mucha corriente su salida es extremadamente estable sobre un periodo largo de tiempo. Nunca debe tratar de recargar una batería de litio.



**Figura A-2 batería de litio tipo botón**

## **BATERÍAS SECUNDARIAS:**

Como ya se ha mencionado estas baterías son aquellas que su reacción química se puede revertir para restaurar su capacidad. A este proceso le llamaremos recarga.

### **La familia de baterías de Plomo-Ácido:**

Las baterías de plomo-ácido son una de las pocas celdas "líquidas" que actualmente se siguen comercializando; se llama celda líquida porque su electrolito es líquido. Los automóviles usan baterías de plomo-ácido por su capacidad de respuesta ante una demanda muy grande de corriente como ocurre al encender el automóvil. Cada celda individual dentro de una batería comercial de plomo ácido puede proporcionar hasta 2V, por lo que una batería de 12V usa 6 de estas celdas en serie. En estas baterías el electrolito es una solución moderada de ácido sulfúrico y es el que soporta la reacción entre las placas alternadas de plomo poroso y de peróxido de plomo. La reacción entre esas placas libera un gas que tiene que ser ventilado de la batería, como resultado el nivel del líquido del electrolito disminuye gradualmente y hay que rellenarlo de vez en cuando. Los diseñadores de baterías de plomo ácido hicieron electrodos de una aleación de plomo y calcio que dio como resultado las baterías libres de mantenimiento que están selladas y no requieren mantenimiento. Las baterías de plomo-ácido deben almacenarse cargadas o se formarán corto circuitos internos en la batería durante la carga. Las baterías de plomo-ácido son baterías secundarias y pueden ser recargadas al conectar una fuente de CD a través de la batería para que la corriente fluya en la dirección opuesta. Pueden tomar una carga rápida de 30 a 60 minutos con pocos problemas y tener una vida de almacenamiento de varios años.

### **Familia de Niquel-Cadmio:**

Las baterías NiCd es una de las fuentes de energía más efectiva y redituable de la que se dispone. A pesar de que inicialmente cuestan más y tienen menor capacidad de almacenar energía que una alcalina, al poder ser recargadas varias veces frecuentemente se recupera su costo inicial muy sobradamente. La batería de NiCd se diseña con un mecanismo de escape que evita que cualquier exceso de presión durante la recarga se libere, por lo que se puede dejar la batería cargando por largos periodos de tiempo sin que se dañe. Las celdas de NiCd están disponibles en 1.5V D, C, AA y AAA y rectangulares de 9V. Aún y cuando las baterías NiCd pueden ser almacenadas cargadas o descargadas, tienen una pobre vida en almacén cuando se guardan cargadas. A temperatura ambiente una batería de estas se descarga 2% diario por lo que se tendrá que recargar después de 50 o 60 días. También no se deben almacenar conectadas a una carga como por ejemplo cuando las dejamos en algún juguete con el interruptor encendido. Mantener una carga en una batería NiCd descargada ocasionará que esta se derrame. Sin embargo se puede guardar recargándola por periodos aplicando una pequeña corriente que sea lo suficientemente baja para prevenir un daño en la batería. Las baterías de NiCd forman una memoria, este fenómeno ocurre cuando este tipo de baterías es continuamente cargada y descargada a los mismos niveles, cuando se forma esta memoria la capacidad de almacenamiento de energía puede verse seriamente reducida; por lo que, la batería sólo entregara energía hasta los mencionados puntos de memoria, aparentando estar muerta en poco tiempo. Este problema se puede solucionar dejando la batería temporalmente conectada con una carga hasta que se descargue totalmente y después recargándola completamente. Esto quizá se tenga que hacer varias veces con el fin de recuperar la capacidad total de la celda. Cuando se manejan correctamente este tipo de baterías pueden dar una larga vida de servicio. Las características de las familias mencionadas se resumen en la tabla A-1.

Tabla A-I. Características de diferentes familias de baterías.

|                        |   |   |                                  |   |                         |   |                          |
|------------------------|---|---|----------------------------------|---|-------------------------|---|--------------------------|
| Familia                | Carbón Zinc                                   | Cloruro de Zinc                           | Alcalina                         | Mercurio                                  | Litio                   | Níquel Cadmio                             | Plomo Ácido              |
| Tipo                   | Primaria                                      | Primaria                                  | Primaria                         | Primaria                                  | Primaria                | Secundaria                                | Secundaria               |
| Volts por celda        | 1.5   | 1.5                                       | 1.5                              | 1.35 o 1.4                                | 3.0                     | 1.2                                       | 2.0                      |
| Electrodo positivo     | Dióxido de Manganeso                          | Dióxido de Manganeso                      | Dióxido de Manganeso             | Oxido de Mercurio                         | Dióxido de Manganeso    | Hidróxido de níquel                       | Peróxido de plomo        |
| Electrodo negativo     | Zinc  | Zinc                                      | Zinc                             | Zinc                                      | Litio                   | Cadmio                                    | Plomo poroso             |
| Electrolito            | Amoniaco y cloruro de zinc                    | Cloruro de zinc                           | Hidróxido de potasio             | Hidróxido de potasio o sodio              | Perclorato de litio     | Hidróxido de potasio                      | Acido sulfúrico          |
| Ciclos de recarga      | X   | X   | X                                | X   | X                       | 300 a 2000                                | >1500                    |
| Producción de Gases    | Mediano                                       | Mayor que carbón zinc                     | Bajo                             | Muy bajo                                  | Bajo                    | Bajo                                      | Medio                    |
| Alcances               | Poca eficiencia con demanda alta de corriente | Alto desempeño a altas temp.              | Cara para usos de poca corriente | Desempeño pobre a bajas temperaturas      | Sólo usos a 3V          | Costo inicial caro                        | Pesadas y delicadas      |
| Familia                | Carbón Zinc                                   | Cloruro de Zinc                           | Alcalina                         | Mercurio                                  | Litio                   | Níquel Cadmio                             | Plomo Ácido              |
| Efectos de temperatura | Pobre desempeño a bajas temp.                 | Aceptable a bajas temp.                   | Buena a bajas temp.              | Buena a altas temp. Y pobre a bajas temp. | Aceptable a bajas temp. | Muy bueno a bajas temp pobre a altas temp | Buena a bajas temp       |
| Características        | Disponibles a la mano. Bajo costo             | Capacidad de servicio mayor a carbón zinc | Muy eficiente con cargas grandes | Curva de descarga muy plana               | Buena vida en almacén   | Excelente ciclo de vida y muy confiables  | Alta densidad de energía |

## PRUEBA DE UNA BATERÍA:

La energía que entregan las baterías depende de la carga que esté conectada y el tiempo en el que se use (ciclo de trabajo). Determinar cuánta energía queda en la batería no es fácil, sin embargo al medir el voltaje de una batería bajo carga se puede aproximar la capacidad de servicio remanente y calificarla de buena, débil o mala. Para evaluar una batería esta debe cargarse propiamente, la figura A-3 muestra el circuito sugerido y la tabla A-II los valores de la carga adecuados. Al activar el botón si tenemos un voltaje de hasta el 75% del voltaje que se espera de la batería se le considerará buena, si está entre el 60% y el 75% se le considerará débil es decir acercándose al fin de su vida útil para ser remplazada, debajo del 60% nos indica una batería mala que ha llegado al fin de su vida útil y que se tiene que remplazar.

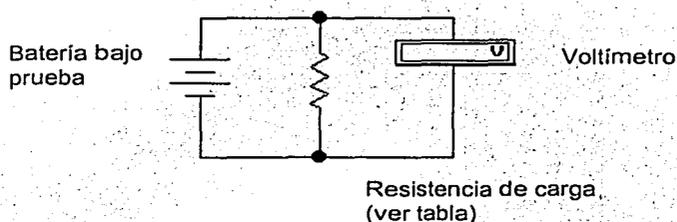


Fig. A-3 Para evaluar una batería, esta debe tener carga conectada. La resistencia de carga se obtiene de la tabla que sigue.

| Voltaje     | Tamaño de la Batería                  | Resistor de Carga  |
|-------------|---------------------------------------|--------------------|
| 1.5V        | D, C, AA De propósito general         | 10 $\Omega$ 1/2W   |
| 1.5V        | D, C AA "heavy duty" o alto desempeño | 2.25 $\Omega$ 1W   |
| 1.5V        | AAA                                   | 3 $\Omega$ 1W      |
| 6V          | Linterna                              | 5 $\Omega$ 10W     |
| 9V          | Rectangular                           | 250 $\Omega$ 1/2W  |
| 1.35 o 1.4V | Botón de mercurio                     | 1500 $\Omega$ 1/4W |
| 3.0V        | Botón de litio                        | 3000 $\Omega$ 1/4W |

Tabla A-II. Resistencias de carga para evaluar diferentes baterías.

## MEDIDAS EN AMPERES-HORA

La unidad de Amper-hora [Ah] es quizá la medida más útil para comparar baterías, y se define como la capacidad de corriente que entrega una celda multiplicada por el tiempo, esto es que si una batería alcalina de 1.5 V tamaño D tiene capacidad de entregar 23[Ah] podemos entender que si se extrae un Amper de la batería esta deberá durar 23 horas, si le extraemos sólo 500mA deberá durar hasta 46 horas, si sabemos la corriente de carga del circuito y los amperes-hora de la batería podemos hacer un estimado de cuanto nos va durar una batería. En la tabla A-III, podemos ver las especificaciones de las baterías más comunes, los datos son la capacidad y la corriente máxima recomendada. Podemos apreciar que la capacidad de las baterías en [Ah] está relacionada con su tamaño.

| Familia                           | Carbón-Zinc | Cloruro De Zinc | Alcalina    | Mercurio      | Litio         | Niquel-Cadmio | Plomo-Ácido |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|-------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| Capacidad típica                  | Hasta 5 Ah  | Hasta 7.4 Ah    | Hasta 23 Ah | Hasta 28 Ah   | Hasta 200 mAh | Hasta 4 Ah    | Hasta 50 Ah |
| Límites de corriente según tamaño | D           | 0-150 mA        | 0-150 mA    | 0-650 mA      | N/D           | N/D           | 0-4.8 A     |
|                                   | C           | 0-80 mA         | 0-80 mA     | 0-480 mA      | N/D           | N/D           | 0-4.8 A     |
|                                   | AA          | 0-25 mA         | 0-25 mA     | 0-250 mA      | N/D           | N/D           | 0-2 A       |
|                                   | AAA         | N/D             | 0-20 mA     | 0-170 mA      | N/D           | N/D           | 0-250 mA    |
|                                   | N           | N/D             | 0-85 mA     | 0-85 mA       | N/D           | N/D           | N/D         |
|                                   | 9V rectang  | 0-15 mA         | 0-15 mA     | 0-100 mA      | N/D           | N/D           | 0-1A        |
|                                   | 6V linterna | 0-250 mA        | 0-250 mA    | N/D           | N/D           | N/D           | N/D         |
|                                   | Botón       | N/D             | N/D         | 0-100 $\mu$ A | 0-2 mA        | 0-400 $\mu$ A | N/D         |
| 12V auto                          | N/D         | N/D             | N/D         | N/D           | N/D           | N/D           | 0-20 A      |

Tabla A-III. Capacidad de diferentes familias de baterías. N/D= no disponible

Otra de las baterías usadas son las de litio-dióxido de azufre que ofrecen 19 Amperes-hora a 3V con una vida de almacén de 10 años. Este tipo de baterías se usa en aplicaciones industriales y militares donde se requiere gran capacidad de operación a temperaturas extremas. Otra batería es la de celda de aire-zinc que viene en forma de botón y que tiene vida de almacén de 10 años, esta se usa en ayudas auditivas, luces de emergencia y radiolocalizadores.

El proceso para rejuvenecer baterías primarias se detalla en la referencia y no se expone aquí por tener muchas limitaciones y ser poco eficiente.

#### RECARGA DE BATERÍAS SECUNDARIAS:

Como se mencionó la química de las baterías secundarias permite hacer reversible la reacción química dentro de la batería con el propósito de restaurar la capacidad de la batería. Esto se hace aplicando un voltaje externo a la batería para que fluya corriente hacia la batería en vez de hacia fuera. Se tiene que proporcionar hasta un 140% más de energía que la que se quiere restaurar. La tasa de recarga "C" de una batería de NiCd es igual a su capacidad en [Ah] sin embargo frecuentemente este valor es muy grande para la batería, por lo que se usa un valor mucho menor. El valor más usado es el de una carga en 10 horas es decir de C/10. Por ejemplo una batería con C=3Ah se cargara en diez horas administrando una corriente de .3 A. La mayoría de las baterías recargables necesitan una corriente de carga constante para su carga óptima, aunque comercialmente hay muchas opciones de cargadores (como el de la figura A-4), estos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Los de carga rápida.- estos son aquellos en donde el valor de la corriente suministrada es alto y está entre C/10 a C/3. La carga rápida puede ser peligrosa por lo que la batería debe estar diseñada para tolerar dicha corriente alta.
- Los de carga lenta.- La mayoría de las baterías está diseñada para una carga lenta y se pueden dañar con una carga rápida. Un circuito normal de carga usa una tasa de C/50 a C/30. Esa baja corriente puede mantener una batería de NiCd lista para usarse indefinidamente con una degradación mínima.



**Figura A-4. Batería recargable y cargador.**

Existen cargadores basados en circuitos integrados que determinan automáticamente que tipo de carga efectuar. Por otro lado, para las baterías de plomo-ácido no es bueno la carga con corriente constante, aún cuando la batería esté totalmente cargada, una pequeña corriente hacia la batería puede ocasionar envejecimiento en las placas y descomposición del electrolito. El voltaje de carga también es un problema en baterías de plomo-ácido, el excesivo voltaje fuerza una corriente mayor que degrada las celdas. Por el contrario, un voltaje bajo no suministra la corriente necesaria para permitir una carga en la batería, lo que ocasionará que quede sulfato de plomo en las placas y que disminuya la capacidad de servicio de la batería. Se recomienda para estas baterías los cargadores regulados.

Nunca se trate de recargar baterías de carbón-zinc, alcalinas, de mercurio o de litio. Las de carbón-zinc se pueden rejuvenecer pero con procedimientos muy específicos los cuales difieren mucho de una simple recarga y no se recomiendan por su baja eficiencia.

#### **SUGERENCIAS PARA SELECCIONAR BATERÍAS<sup>64</sup>:**

Para seleccionar la batería adecuada a nuestra cierta aplicación se deben determinar los siguientes datos:

- Requisitos de potencia.
- Características de demanda de corriente. Si es continua o pico, por periodos, máxima y mínima.
- Voltaje de operación incluyendo las variantes tolerables. Ej. Voltaje en circuito abierto, voltaje de arranque bajo carga y voltaje al cual el equipo ya no puede operar.
- Forma de descarga. Se debe especificar para el caso de operación intermitente la duración de los periodos activos. Las características pico de la descarga y el tiempo deseado de duración de la batería.
- Tipo de carga. Ej. resistiva, inductiva, etc.
- Tamaño, forma y restricciones de peso.
- Condiciones ambientales de operación y almacenamiento y el tiempo de exposición a este ambiente.
- Los periodos de almacenamiento previos al uso.
- La disponibilidad de potencia calorífica o luminosa. Ej. Generación termoeléctricas y celdas solares.

<sup>64</sup> Cfr. Politi, Edward Y. "Capítulo 10: Telemetry-System Component Design", en Handbook of Telemetry and Remote Control Gruenberg, Elliot L. Editor en jefe

- Para las recargables los periodos de carga y descarga; y el tipo de recarga de mantenimiento y de operación.

Así también hay que recordar que dependiendo de la aplicación se determina la potencia requerida, que es mejor obtener voltajes altos de convertidores CD a CD que de muchas baterías de bajo voltaje. Una vez determinados el voltaje y la potencia se obtiene la corriente. No se debe incluir a la potencia promedio los picos de corriente. Estos picos de corriente se deben agregar a la corriente promedio demandada a la batería, para determinar los amperes que la batería necesita entregar. Si se conoce la cantidad de corriente requerida se puede estimar la conformación de los bancos de baterías, ya sea con arreglos serie o paralelo. El número de baterías en serie en un banco se determina dividiendo el voltaje requerido entre el voltaje individual de una de las baterías que lo componen. El número de bancos conectados en paralelo se determina dividiendo la corriente requerida entre la corriente individual de salida de una batería. Se recomienda que haya periodos de reposo entre descargas para permitir despolarización en la batería y moderar la temperatura de operación. Algunos otros factores que pueden incrementar el desempeño y vida útil de las baterías en un proyecto son:

- Tratar de usar baterías comunes de las que están disponibles en cualquier lado.
- Algunos tipos de baterías, como las alcalinas, usan cubiertas de acero. Hay que verificar que el portabaterías aisle la pila de las demás partes del circuito para prevenir cortos.
- Las baterías pueden derramar electrolito si se ponen viejas o dañadas. Las baterías secundarias pueden derramar si se les drena corriente excesivamente o si se sobrecargan. Hay que seleccionar el portabaterías y los compartimentos previniendo a los circuitos de un posible derrame.
- A una batería se le debe permitir la ventilación de los gases que genera mientras opera. Nunca selle o sumerja la batería en algún tipo de compuesto.
- Se deben mantener las fuentes de calor lejos de las baterías. El exceso de calor tiende a evaporar la humedad de la batería y reducir su vida útil, por lo que hay que permitir la disipación del calor.
- Siempre que sea posible conecte las baterías en serie. Una batería en paralelo con un voltaje de salida más bajo que las otras estará en estado de carga y representará una carga para las demás baterías reduciendo la vida de servicio del arreglo. Esta condición puede ocasionar también derrames en la batería más débil. Por lo menos trate de que todas las baterías del arreglo tengan la misma vida, es decir al reemplazarlas reemplace todas.
- Trate de usar un adaptador de AC-DC cuando sea posible, esto alargará la vida de las baterías:

## BIBLIOGRAFÍA:

1. Balanis, Constantine A., Antenna Theory, 2da ed 1997, Ed. J. Wiley
2. Bentley, John, Sistemas de medición, principios y aplicaciones. Ed. CECSA, México 1993, 2a ed.
3. Bigelow, Stephen J, "All about batteries", en Popular Electronics Agosto 1990
4. Boylestad, Robert L., Electrónica Teoría de Circuitos, 6ta edición 1997, Ed Prentice Hall Hispanoamericana.
5. Burden, D J H, "Radio in the Utilities Industry", en 100 Years of radio, 5-7 september 1995, Conference Publication 411, IEE, 1995.
6. Carden, Telemetry systems design, 1a ed.
7. Cooper, William, Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición, Ed. Prentice-Hall, México, 1991, 1ª Ed
8. Couch, Digital and Analog Communication Systems, McMillan, 1990, EUA, 3a ed.
9. Chang, Raymond, Química, 4ta edición 1994, Ed McGraw-Hill
10. Dorf, Richard C editor en jefe, The electrical engineering handbook, Ed. CRC 1993
11. Ferro, Jose Maria. Instrumentación electrónica. Sensores., Universidad Politécnica de Valencia, 1ª ed 1994, España.
12. Fryer Thomas B. editor, Biotelemetry III, International Symposium on Biotelemetry 3 Pacific Grove Calif 1976, Ed. Academic Press 1976
13. Gibson, The Communications Handbook, CRC Press, 1997, EUA, 1a ed.
14. Green, Lynne, Fiber Optic communications, Ed. CRC Press, 1993.
15. Gruenberg, Elliot editor en jefe, Handbook of Telemetry and Remote Control, Ed. Mc Graw-Hill, 1967
16. Hickernell, Fred S., "Surface Acoustic Devices: A rewarding past, a significant present, and a promising future" base de datos de la IEEE
17. Hioki, Warren, Telecommunications, Prentice-Hall, 3ª ed., Columbus, 1998.
18. Hyakin, Simon, Communication systems, Ed. Jhon Willey & sons, 3ª ed., New York, 1994.
19. Jung, Walter, Amplificadores operacionales integrados, Ed. Parainfo, Madrid, 1991, 3ª ed.
20. Lathi, Sistemas de comunicación, ed. McGraw-Hill, 2ª ed. México 1991.
21. Lee, Edward, Digital Communication, Kuper Academic Publishers, 1a ed., EUA, 1990.

22. Mackay, R.S., Bio-Medical Telemetry: Sensing and Transmitting biological information from animals and man., 2da edición 1992, Ed. IEEE Press
23. Mata, Gloria et. al., Manual de prácticas de transductores y convertidores eléctricos. F.I
24. Matthews, Herbert, Surface Wave Filters, d. J. Wiley, 1977
25. Mischa, Transmisión de información modulación y ruido, McGraw-Hill, 1983. México, 3ª ed.
26. Pozar, David M., Microwave Engineering, Ed Addison-Wesley 1990
27. Prior, Fred, "Communication Technology for telemedicine", en Proceedings of National Forum '95 IEEE
28. Schwartz, Transmisión de información modulación y ruido, Ed. McGraw-Hill, México, 1993.
29. Stremmler, Introducción a los sistemas de comunicación, Addison-Wesley, México, 1990.
30. Tanenbaum, Computer Networks, Prentice-Hall, 3ª ed., EUA, 1996.
31. Wawen, Hioki, Telecommunications, Prentice-Hall, 1998, Ohio, 3ª Ed.
32. Young, Electronic Communication techniques, Merrill Publishing, 2a ed., Columbus, 1990.
33. Ziemer y Tranter. , Principios de comunicaciones, Trillas, 1998, México, 1ª Ed.
34. International Telemetry Conference 1990 Las Vegas, NY, Ed. Instrument Society of America 1990