

16



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

CARTUCHO DE TELEMETRIA PARA
LA HERRAMIENTA DE REGISTROS
SONAR SONIMP UTILIZANDO UN
MICROCONTROLADOR

101283

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA:
OSCAR CARMONA ISLAS

ASESOR:
ING. JOSE UBALDO RAMIREZ URIZAR

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO, 2000



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.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

U. N. A. M.
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos:

La Tesis:

"Cartucho de telemetría para la herramienta de registros sonar
SONIMP utilizando un microcontrolador".

que presenta el pasante: Carmona Islas Oscar
con número de cuenta: 9001151-5 para obtener el título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 10 de Noviembre de 1999

PRESIDENTE

Ing. José Ubaldo Ramírez Urizar

VOCAL

Ing. Juan González Vega

SECRETARIO

Ing. Jorge Buendía Gómez

PRIMER SUPLENTE

Ing. Jorge Ramírez Rodríguez

SEGUNDO SUPLENTE

Ing. Margarita López López

Agradecimientos

A mis padres:

Por su constante apoyo y educación de siempre.

A mi esposa:

Por la compañía, el amor y la comprensión demostrada durante tiempos difíciles.

A mis hermanos:

Laura, Vicky, Jana, Angelica, Felipe de Jesús y Juan Ruben; por su ayuda y sus consejos tan valiosos.

A los profesores:

Que de primaria a facultad contribuyeron con miles de conocimientos que hoy se convierten en mi formación profesional.

A la U.N.A.M.:

Por la educación gratuita que me dio durante 8 años.

A los miembros del jurado:

Por sus observaciones y sus aportaciones para la correcta realización de esta tesis.

Al Instituto Mexicano del
Petróleo:

Por la confianza que deposito en mí para realizar este trabajo y por impulsar la titulación mediante sus programas de becas.

A los Ingenieros del I.M.P.:

Alberto Flores, Isaac López, Manuel Perafán, Víctor
Herrera y Juan Castro; por su orientación,
confianza y amistad.

A los Ingenieros:

Miguel Ángel Castañeda y José Ubaldo Ramírez
Por su valiosa colaboración como asesores, y por la
facilidad otorgada para realizar los tramites de
titulación.

a todos ellos y a los que me fallaron...

gracias.

Indice

	Página
Indice de figuras	vii
Nomenclatura	ix
Glosario	xi
I N T R O D U C C I Ó N	2
Surgimiento del problema	5
Solución propuesta	6
Objetivos	8
CAPÍTULO 1 CONCEPTOS TEÓRICOS	
1.1 Limitaciones en la transmisión de señales	10
1.1.1 Distorsión	10
1.1.2 Ruido	11
1.2 Medios de transmisión	12
1.2.1 Medio magnético	12
1.2.2 Par trenzado	13
1.2.3 Cable coaxial	14
1.2.3.1 Cable coaxial de banda base	14

1.2.3.2	Cable coaxial de banda ancha	15
1.2.4	Fibras ópticas	15
1.2.5	Microondas	17
1.2.6	Comunicación por satélites	18
1.3	Transmisión digital	19
1.3.1	Modulación	20
1.3.1.1	Modulación de amplitud	21
1.3.1.2	Modulación de frecuencia	21
1.3.1.3	Modulación de fase	22
1.3.1.4	Modulación Bifase	23
1.3.2	Necesidad de sincronización en un sistema	24
1.3.2.1	Transmisión asíncrona	26
1.3.2.2	Transmisión síncrona	27
1.3.3	Modos de transmisión	28
1.3.4	Multiplexación	29
1.3.4.1	Multiplexación por división de frecuencia y de tiempo	30
1.3.5	Errores de transmisión	32
1.3.5.1	Entramado	32
1.3.5.2	Naturaleza de los errores	34
1.3.5.3	Detección y corrección de errores	36
1.3.5.3.1	Códigos detectores de errores	37
1.3.5.3.2	Códigos correctores de errores	42

CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA SONIMP

2.1	Equipo de superficie	48
2.1.1	Unidad BLUE	48
2.1.2	Equipo de adquisición, procesamiento e interpretación de datos	49
2.2	Equipo de fondo	52
2.2.1	Cartucho de telemetría	53
2.2.1.1	Definición de telemetría	53
2.2.1.2	Sistemas telemétricos	54
2.2.2	Cartucho de orientación	55
2.2.3	Cartucho electrónico	56
2.2.4	Sonda mecánica	56
2.3	Conexión del heptacable	57
2.4	Protocolo y tramas de comunicación	59
2.4.1	Envío de datos hacia la superficie	59
2.4.1.1	Trama de subida	60
2.4.2	Ventana sónica	63
2.4.3	Recepción de las ordenes de superficie	64
2.4.3.1	Trama de bajada	64
2.4.4	Necesidad de compatibilidad	66
2.5	Equipos parecidos al sistema SONIMP	67

CAPÍTULO 3 DISEÑO Y DESARROLLO DEL CARTUCHO DE TELEMETRIA

3.1 El circuito de acoplo	71
3.2 La etapa multiplexora	73
3.3 El circuito receptor	74
3.4 El circuito demodulador	76
3.4.1 Sincronización con superficie	81
3.5 El circuito de control	82
3.5.1 Características del microcontrolador	89
3.5.2 Implementación del programa	89
3.6 El circuito modulador	93
3.7 El circuito amplificador	95

CAPÍTULO 4 CONSTRUCCION DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS POR ETAPAS

4.1 Pruebas del circuito receptor	98
4.2 Pruebas del demodulador y del modulador	99
4.3 Pruebas del amplificador y del circuito de control	100
4.4 Pruebas finales	103
4.4.1 Pruebas simulando el cartucho electrónico	104
4.4.2 Pruebas con el cartucho electrónico real y la sonda mecánica	107
4.4.3 Pruebas con el heptacable real	108

CONCLUSIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	114
APÉNDICES	116
Apéndice A. Programa grabado al microcontrolador	116
Apéndice B. Lista de componentes	126
Apéndice C. Diagramas electrónicos	128

Indice de figuras

	Página
1 Corte de un cable coaxial	14
2 Secciones de fibra óptica	16
3 Tipos de modulación	21
4 Modulación bifase	23
5 Transmisión asincrónica	26
6 Transmisión síncrona	28
7 Ejemplos de entramados	33
8 Cálculo del código de redundancia	39
9 Ejemplo del código Hamming	43
10 Sistema SONIMP en operación	46
11 Partes del sistema SONIMP	48
12 Equipo de superficie del sistema SONIMP	50
13 Gráfica tridimensional de una cavidad	52
14 Equipo de fondo del sistema SONIMP	58
15 Conexión del heptacable	62
16 Palabras del cartucho electrónico hacia superficie	65
17 Palabras de superficie hacia el cartucho electrónico	70
18 Cartucho de telemetría	71
19 Circuito de acoplo	73
20 Etapa multiplexora	

21	Circuito receptor	74
22	Circuito demodulador	77
23	Demodulación de ceros	78
24	Demodulación de unos	79
25	Circuito de sincronización	81
26	Circuito de control	84
27	Circuito Modulador	93
28	Diagrama de tiempos de la modulación	95
29	Circuito amplificador	96
30	Deformación de la señal bifase	98
31	Circuito de prueba	102
32	Programa SONIMP_2	106
33	Sistema SONIMP operando en laboratorio	107
34	Heptacable real y partes del sistema SONIMP	109

Nomenclatura

- AM: Amplitud Modulada
- ASCII: American Standard Code for Information Interchange;
(Código Americano para el Intercambio de Información).
- BIT: Binary digit; (Dígito binario).
- BLUE: Basic Login Unit Electronic; (Unidad Electrónica Básica de Registros).
- CA: Corriente Alterna.
- CAD: Convertidor Analógico Digital.
- CCITT: Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico.
- CD: Corriente directa.
- CLKEX2: Reloj de 12.5 KHz, externo al microcontrolador.
- CPU: Central Prosecution Unit; (Unidad de Procesamiento Central).
- CRC: Cyclic Redundance Code; (Código de Redundancia Cíclica).
- CTS: Cable Telemetry System; (Sistema de Telemetría por Cable).
- DCLK: Down Clock; (Reloj de bajada).
- DDATA: Down Data; (Datos hacia abajo).
- DNA: Abreviatura de ácido desoxirribonucleico
- Fc: Frecuencia de corte.
- FSP: Frame Sync Pattern; (Estructura del patrón de sincronía).
- GO: Pulso de inicio hacia el cartucho electrónico.
- GOS: Habilita la conexión de GO con la línea UDATA/GO.
- HAB: Multiplexa el envío de la señal analógica o la señal digital.
- IMP: Instituto Mexicano del Petróleo.
- INICREC: Inicio de Recepción.
- LED: Light Emitter Diode; (Diodo emisor de luz).
- MBPS: Mega Bits Por Segundo.
- MCTS-A: Modulo de Comunicación Telemétrico y Sónico versión A.

-
-
- PEMEX: Petróleos Mexicanos.
- RELCARD: Habilita el envío de DCLK hacia el cartucho electrónico.
- RELCARU: Habilita el envío de UCLK hacia el cartucho electrónico.
- ROV: Remotely Operated Vehicle; (Vehículo de Operación Remota).
- SONDE TRIGGER: Disparo de la sonda.
- SONIMP: SONar Instituto Mexicano del Petróleo; (Herramienta de registros sonar construida en el IMP).
- TCC-A: Telemetry Communications Cartridge; (Cartucho de Comunicaciones de Telemetría, versión A).
- To: Señal de referencia enviada a superficie al disparar al transductor.
- UCLK: Up Clock; (Reloj de subida).
- UDATA: Up Data; (Datos hacia arriba).
- UHF: Ultra High Frequency; (Frecuencia Ultra Alta o excesivamente alta).
- UPS: Unit Power Supply; (Unidad Suministradora de Energía).
- WFMSYNC: Waveform Sync; (Forma de onda sincrónica).
- WFMSYNC FEEDBACK: Forma de onda sincrónica realimentada.

Glosario

- ANCHO DE BANDA:** Rango de frecuencias a las que trabaja un sistema determinado.
- AZIMUTH:** Angulo que en el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto del globo terráqueo.
- BLUE:** (Basic Login Unit Electronic); Unidad Electrónica Básica de Registros. Camión destinado a alojar al equipo de superficie del sistema SONIMP.
- CAVIDAD:** Hueco o depósito subterráneo de forma irregular en un domo salino.
- CRUDO:** Petróleo bruto, sin refinar.
- DOMO SALINO:** Masa de sales subterráneas donde predomina el cloruro de sodio, formado por la evaporación de mares.
- ELEMENTO PIEZOELECTRICO:** Cuerpo que manifiesta fenómenos mecánicos y eléctricos al someterse a presión o deformación.
- LIXIVIACION:** Disolución parcial de las sales de un domo salino mediante la inyección de agua dulce a determinadas condiciones de presión y temperatura.
- PROTOCOLO:** Reglas y convenciones utilizadas para establecer comunicación.
- SALMUERA:** Mezcla de agua y sal obtenida durante el proceso de lixiviación en un domo salino.
- SCANNER SONAR:** Aparato capaz de captar, gracias a un dispositivo ultrasónico, las características geométricas de alguna superficie en estudio.
- TELEMETRIA:** Técnica de medición a distancia por la cual se consigue capturar valores presentes en un punto sin necesidad de interactuar con el mismo.

TRAMA: Secuencia de bits agrupados para su transmisión.

TRANSDUCTOR: Dispositivo que transforma un tipo de energía a otro para un propósito específico, por ejemplo un parámetro físico, químico o biológico en una magnitud eléctrica.

Introducción

El desarrollo de la Industria Petrolera Mexicana ha alcanzado niveles de competitividad internacional y ha logrado implantar las alternativas tecnológicas que requiere la explotación energética nacional, extendiendo sus beneficios a diversas áreas productivas.

Al iniciarse la explotación de los campos de la zona sudeste marina surgió la necesidad de contar con mayor capacidad para el almacenamiento de los hidrocarburos, misma que se resolvió al ampliar la red de oleoductos y al crear centrales de almacenamiento; pero como la producción seguía en aumento, se utilizaron buquetanques de gran tamaño (dos millones de barriles). Aún con esto, la necesidad de incrementar la capacidad de almacenamiento siguió presentándose.

Por tanto; conscientes de la necesidad de contar en nuestro país con instalaciones de almacenamiento estratégicamente localizadas y con una capacidad suficiente que aseguraran las demandas internas y la comercialización con ventajas en la exportación, pero que además proporcionara un adecuado margen para la operación y permitieran afrontar contingencias y mal tiempo para la exportación, *PEMEX (Petróleos Mexicanos)* encomendó a las dependencias involucradas en este tópico y al *IMP (Instituto Mexicano del Petróleo)* el desarrollo de un proyecto para almacenar grandes cantidades de petróleo crudo, analizando desde el punto de vista técnico, estratégico, de seguridad y económico los diversos sistemas existentes.

Bajo estas premisas, surge el proyecto Tuzandepetl que consistió en un sistema de almacenamiento subterráneo de crudo en cavidades creadas en domos salinos. Esta idea resultó muy atractiva para la industria petrolera, ya que además de ser mucho más económica y segura que los tanques superficiales, las

enormes dimensiones de las cavidades permitirían almacenar grandes volúmenes del hidrocarburo cuando las malas condiciones climatológicas provocaran la suspensión de embarques y hasta el cierre de los pozos.

Un domo salino es una masa de sales a más de 600 metros de profundidad en donde predomina el cloruro de sodio y su formación se debe a la intensa evaporación de los mares que existieron en las eras geológicas. Con el tiempo y debido a su baja densidad con respecto a los estratos depositados posteriormente, se van abriendo paso por flotación, que a su vez es ayudado por fenómenos tectónicos que refuerzan su movimiento.

Las características permeables de estos bloques de sal permiten suponer que al minarlos se crearían enormes depósitos que servirían como almacenadores del crudo, para lo cual fue necesario realizar la lixiviación de dicho domo.

La lixiviación consiste en la disolución parcial de la masa salina mediante la inyección de agua dulce a una temperatura y presión determinadas, lo que permite la extracción de la salmuera (mezcla de agua y sal).

En México se conoce la existencia de domos salinos en varias partes como Chihuahua, Nuevo León y principalmente en el sudeste del país donde existe una gran cantidad, de los cuales sólo algunos se encuentran cerca de los centros de producción, proceso, exportación, bombeo y distribución de petróleo.

La mayoría de los domos con estas características se ubican en los límites de los estados de Veracruz y Tabasco, y fue concretamente en Tuzandepetl Ver. donde se determinó que era el lugar más apropiado para ese fin, ya que por su situación geográfica, fácil acceso y profundidad adecuada, permitía integrar el almacenamiento a la infraestructura de transporte y distribución (Nuevo Teapa, Pajaritos, Salina Cruz y la Cangrejera).

Las cavidades resultado de la lixiviación del domo, son huecos o depósitos subterráneos de forma irregular que presentan dimensiones promedio de 50 m de diámetro por 300m de altura y una capacidad de 833 mil barriles aproximadamente.

Para el proyecto Tuzandepetl se fabricaron 12 cavidades de éstas, dando espacio para almacenar 10 millones de barriles aproximadamente. Es importante comentar que este tipo de proyectos colocó a México a la vanguardia de toda América Latina ya que fue el primero en contar con almacenamiento subterráneo de hidrocarburos, (*Gaceta 1, pág. 10 del IMP*).

Tanto en la construcción como en la explotación de estas cavidades, es necesario el monitoreo de su estado físico y de sus dimensiones para lo cual se usa el sistema *SONIMP (SONar IMP)* implementado por el Instituto Mexicano del Petróleo.

Este sistema permite conocer la forma, dimensiones y volumen de dichas cavidades por medio del principio del sonar, emitiendo pulsos ultrasónicos que son reflejados en forma de ecos por las paredes de estas mismas.

La emisión de pulsos y detección de ecos es realizada por un transductor acoplado en el extremo inferior del equipo de fondo del sistema *SONIMP*.

Midiendo el tiempo transcurrido desde la emisión de los pulsos a la recepción de los ecos respectivos, y conociendo la velocidad de propagación del sonido dentro de la cavidad, se calcula la distancia entre la pared y la herramienta.

Realizando esta operación a diferentes profundidades y direcciones se obtienen gráficas en dos y tres dimensiones que muestran el estado físico de la cavidad.

Surgimiento del problema

Actualmente existen dos versiones del equipo de fondo del sistema *SONIMP*. La herramienta *SONIMP II* permite obtener los registros de cavidades aún en presencia de tubería, a diferencia de la herramienta *SONIMP I* que solamente trabaja adecuadamente al quitar la tubería de producción.

La construcción de la herramienta *SONIMP I* fue mediante un convenio de desarrollo tecnológico entre el *IMP* y la compañía *Schlumberger*, ante ello se decidió utilizar el cartucho de telemetría *TCC-A (Telemetry Communication Cartridge versión A)* de dicha compañía, el cual en ese entonces (1988) era ampliamente utilizado dentro de *PEMEX* en diversas herramientas para diferentes aplicaciones.

Las adecuaciones para que este cartucho telemétrico trabajara con las herramientas *SONIMP* fueron mínimas, pues tan sólo consistió en el intercambio de conexiones en una de sus tarjetas electrónicas cuyo efecto era reducir la frecuencia de sincronización de 15 a 7.5 Hz.

Cuando se fabricó la herramienta *SONIMP II*, se siguió utilizando el cartucho de telemetría *TCC-A* para conservar el protocolo de comunicaciones, el formato de envío de datos, los programas y por razones de compatibilidad en general.

Actualmente, el cartucho de telemetría *TCC-A* ya es obsoleto y es reemplazado por nuevos modelos integrados con componentes electrónicos especiales bajo diseño patentado por parte de la compañía *Schlumberger*. La falta de compatibilidad de estas nuevas versiones del cartucho *TCC-A* con el

funcionamiento de las herramientas *SONIMP* y la falta de refacciones en el mercado para dar mantenimiento a este mismo, hace necesaria la construcción de un nuevo cartucho telemétrico para ser usado específicamente con las herramientas *SONIMP*.

Entre la obsolescencia del cartucho *TCC-A* destaca el uso de demasiados circuitos integrados en su lógica digital que pueden ser sustituidos por uno solo de mayor escala de integración. Entre ellos se encuentran algunos contadores, flip-flops y registros de corrimiento.

Solución propuesta

Después de analizar la problemática a la que se enfrenta el personal del *IMP* para seguir utilizando satisfactoriamente el sistema *SONIMP*, se propuso diseñar y construir un cartucho de telemetría para ser usado exclusivamente en este sistema ya que el cartucho *TCC-A*, en su momento, tuvo otras aplicaciones.

Al construirse este cartucho se solucionará el problema de obsolescencia ya que se pretende esté integrado por componentes de recién ingreso al mercado y además por un microcontrolador que optimice su funcionamiento.

El planteamiento principal es que este microcontrolador sustituya algunos de los dispositivos tales como contadores, registros de corrimiento, flip-flops, y relojes que se usan en gran cantidad dentro del *TCC-A*.

Entre otras ventajas, esta sustitución proporciona cierta flexibilidad al cartucho en desarrollo, ya que acepta cambios considerables dentro de su funcionamiento con el hecho de reprogramar dicho microcontrolador.

Esta sustitución de hardware por software da la posibilidad de reducir el tamaño del cartucho ya que muchos de los circuitos que ocupan un espacio ya no serán incluidos.

Una ventaja considerable que presenta este nuevo cartucho con respecto al *TCC-A*, es su lugar de fabricación; "MEXICO", ya que esto implica facilidad para conseguir los dispositivos que lo componen y por consecuencia facilidad para darle mantenimiento.

Hay una restricción que se debe contemplar para la realización de este cartucho y es la compatibilidad con el *TCC-A*. Esta compatibilidad debe ser referente a las características generales de las señales; como amplitudes, frecuencias, retardos, etc. Además el método de detección de errores y en general el protocolo de comunicación deben ser los mismos para no afectar el proceso de envío y recepción de datos del sistema *SONIMP*.

Probablemente en la actualidad existan métodos más eficientes para realizar esta comunicación, pero el hecho de cambiar una mínima parte de ésta, implicaría hacer modificaciones en la telemetría de superficie del sistema *SONIMP*. Por esto, el cartucho a desarrollar debe realizar las mismas tareas y en la misma forma que el *TCC-A* usado actualmente. De otra manera sería necesario modificar todo el sistema y no solamente el cartucho de telemetría.

Objetivos

Objetivo general:

Diseñar y construir un cartucho de telemetría para la herramienta *SONIMP*, optimizando su funcionamiento mediante el uso de un microcontrolador.

Objetivos particulares:

- Conservar la compatibilidad con el cartucho *TCC-A* usado actualmente.
- Extender la vida útil del cartucho mediante el uso de componentes electrónicos de recién ingreso al mercado.
- Aprovechar el alcance máximo de medición de distancia de la herramienta *SONIMP*.

1

C O N C E P T O S *T E Ó R I C O S*

Antes de iniciar con la explicación del funcionamiento, diseño y desarrollo del cartucho de telemetría, se hará un recordatorio de algunos conceptos teóricos para una mejor comprensión del funcionamiento del mismo, haciendo énfasis en los directamente relacionados con las características de dicho cartucho.

1.1 Limitaciones en la transmisión de señales

Para transmitir información por cualquier medio conductor, se acostumbra variar algunas de las propiedades físicas de las señales transmisoras, como son; voltaje o corriente. Desafortunadamente ningún medio puede efectuar la transmisión de señales sin dejar de perder potencia durante la realización de dicho proceso, es decir, cualquier medio de transmisión produce distorsión y atenuación.

En general, las amplitudes se transmiten sin degradación en una escala de frecuencia que va desde 0 hasta f_c [medida en Hertz (Hz)], observándose que todas las frecuencias que caen por arriba de esta frecuencia de corte son fuertemente atenuadas. En algunos casos, esta es una propiedad física del medio de transmisión, en tanto que en otros este efecto se introduce intencionalmente en el circuito mediante un filtro cuyo objeto consiste en limitar el ancho de banda que se encuentra disponible para cada usuario.

Una línea telefónica común tiene una frecuencia de corte alrededor de los 3000 Hz, la cual se introduce en forma artificial.

1.1.1 Distorsión

Cada señal transmitida por cualquier medio sufre un cambio de fase diferente en el proceso de transmisión. La función de respuesta es una réplica distorsionada de la señal de entrada, debido a que el medio conductor no permite el mismo acceso a la transmisión de todas las componentes de frecuencia de la señal de entrada. Esto sugiere los requisitos con que un sistema debe cumplir para transmitir sin distorsión.

Un sistema debe atenuar igualmente todas las componentes de frecuencia, pero esta condición no es suficiente para garantizar la transmisión sin distorsión; el cambio de fase de cada componente también debe satisfacer ciertas relaciones. Es posible imaginar que aun cuando todas las componentes de una señal se atenuaran en la misma medida, no se obtendría la misma señal si en el proceso

de transmisión las componentes han adquirido defasamientos diferentes. En una transmisión sin distorsión es necesario que la respuesta sea una réplica exacta de la señal de entrada. Por supuesto, la réplica puede tener magnitud diferente; lo que importa es la forma de la onda y no su magnitud relativa. En general, puede haber algún retraso de tiempo asociado con esta réplica.

Podemos decir que se transmite sin distorsión una señal si la respuesta es la réplica exacta de la entrada con una magnitud de k veces la señal original y un retraso de t_0 segundos.

1.1.2 Ruido

En el proceso de transmisión las señales siempre se ven mezcladas con señales ajenas. Cualquier proceso impuesto sobre alguna señal tiende a introducir perturbaciones indeseables sin relación alguna con la señal deseada, estas perturbaciones se llaman ruido.

Existen varias fuentes de ruido, que en general pueden clasificarse como:

- a) Ruido producido por el hombre.
- b) Perturbaciones naturales erráticas.
- c) Ruido de fluctuación, que se presenta en el interior de los sistemas físicos.

El ruido producido por el hombre se debe a la recepción de señales indeseables provenientes de otras fuentes tales como contactos defectuosos, artefactos eléctricos, radiación por ignición y alumbrado fluorescente; tal ruido siempre puede evitarse eliminando la fuente que lo produce.

El ruido natural errático puede proceder de relámpagos, tormentas eléctricas en la atmósfera, o disturbios atmosféricos en general.

El ruido de fluctuación aparece dentro de sistemas físicos debido a fluctuaciones espontáneas como el movimiento térmico de los electrones libres dentro de un resistor (conocido como ruido térmico), la emisión aleatoria de electrones en válvulas al vacío y la generación aleatoria, recombinación y difusión

de portadores (huecos y electrones) en semiconductores (conocido como ruido de disparo).

1.2 Medios de transmisión

Normalmente, se utilizan varios medios físicos para realizar una transmisión de datos de un punto a otro; a continuación se estudiarán las características de algunos de ellos.

1.2.1 Medio magnético

Una de las formas más comunes para el transporte de datos de un lado a otro, consiste en escribir dicha información sobre una cinta magnética o en discos flexibles, y transportar físicamente la cinta o los discos hasta la máquina destino, para que después ésta pueda leer la información. Este método, aunque no tan sofisticado como aquellos en los que se utilizan satélites de comunicación, es bastante efectivo en costo, en especial en los casos en los que se necesitan anchos de banda grandes o en donde el costo por bit transportado representa un factor clave.

Mediante un simple cálculo puede clarificarse este punto. Una cinta magnética de 6250 bpi (bits por pulgada), que es un patrón industrial, puede almacenar 180 megabytes. Una camioneta o camión ligero llega a transportar, con facilidad, 200 cintas a la vez. Supóngase que las máquinas fuente y destino se encuentran separadas por una distancia que se recorre en una hora de conducción aproximadamente. La velocidad efectiva de transmisión entre estas dos máquinas es por consiguiente de 288 000 megabits en 3600 segundos, o sea 80 Mbps.

Ninguna red de área extendida cae dentro del orden de magnitud de este ancho de banda, y muy pocas redes locales pueden llegar a igualarlo.

1.2.2 Par trenzado

Aunque las características del ancho de banda de una cinta magnética sean excelentes, las características de retardo son muy malas; su tiempo de transmisión se mide en minutos u horas, y no en milisegundos. En muchas aplicaciones resulta necesario tener una conexión en línea. El medio de transmisión más antiguo, y todavía el más ampliamente utilizado, es el par trenzado. Este consiste en dos alambres de cobre aislados, en general de 1 mm de espesor. Los alambres se entrelazan en forma helicoidal, como en una molécula de *DNA*. La forma trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. (Dos cables paralelos constituyen una antena simple, en tanto que un par trenzado no).

La distancia que se puede recorrer con estos cables es de varios kilómetros, sin necesidad de amplificar las señales, pero sí es necesario incluir repetidores en distancias más largas. Cuando hay muchos pares trenzados colocados paralelamente que recorren distancias considerables, como podría ser el caso de los cables de un edificio de departamentos que se dirigen a la oficina de teléfonos, éstos se agrupan y se cubren con una malla protectora. Los pares dentro de estos agrupamientos podrían sufrir interferencias mutuas si no estuvieran trenzados. En algunos lugares del mundo en donde las líneas telefónicas se instalan en la parte alta de los postes, se observan frecuentemente dichos agrupamientos, como cables con diámetros de varios centímetros.

Los pares trenzados se pueden utilizar tanto para transmisión analógica como digital, y su ancho de banda depende del calibre del alambre y de la distancia que recorre; en muchos casos pueden obtenerse transmisiones de varios megabits/s, en distancias de pocos Kilómetros. Debido a su adecuado comportamiento y bajo costo, los pares trenzados se utilizan ampliamente y es probable que su presencia permanezca por muchos años.

1.2.3 Cable coaxial

1.2.3.1 Cable coaxial de banda base

El cable coaxial es otro medio típico de transmisión. Hay dos tipos de cable coaxial que se utilizan con frecuencia, uno de ellos es el cable de 50 ohms que se utiliza en la transmisión digital y es precisamente el tema de esta sección; en tanto que el otro tipo (cable de 75 ohms) que se emplea en la transmisión analógica, será el tema de la sección siguiente.

El cable coaxial consta de un núcleo conductor en su parte central el cual se encuentra rodeado por un material aislante. Este material aislante está rodeado por un conductor cilíndrico que frecuentemente se presenta como una malla de tejido trenzado. El conductor externo está cubierto por una capa de plástico protector. En la **figura 1** se muestra el corte de un cable coaxial.

La construcción del cable coaxial produce una buena combinación de un gran ancho de banda y una excelente inmunidad al ruido. El ancho de banda que se puede obtener depende de la longitud del cable.

Se pueden utilizar cables con mayor longitud, pero se obtienen velocidades más bajas. Los cables coaxiales se emplean ampliamente en redes de área local y para transmisiones de larga distancia del sistema telefónico.

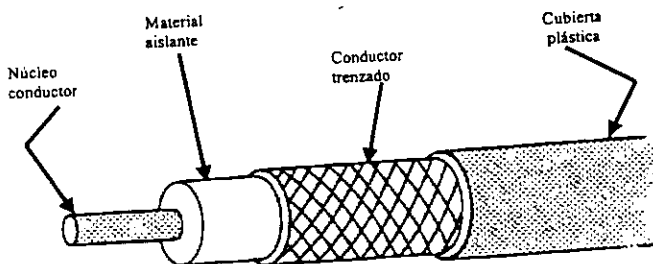


Figura 1. Corte de un cable coaxial.

1.2.3.2 Cable coaxial de banda ancha

El sistema que considera el otro tipo de cable coaxial emplea la transmisión analógica en el cableado que se utiliza comúnmente para el envío de la señal de televisión por cable, y se le denomina de banda ancha. Aunque el término "banda ancha" proviene del medio telefónico, en el cual se refiere a frecuencias superiores a los 4 KHz, el significado de este término en el medio de redes se asocia a las redes de cables utilizadas para la transmisión analógica.

Estos cables de banda ancha pueden emplearse para aplicaciones que necesiten hasta los 300 MHz (y en algunos casos hasta los 450 MHz), y extenderse a longitudes que alcanzan hasta los 100 m, gracias a la naturaleza analógica de la señal, que es menos crítica que la del tipo digital. Normalmente los sistemas de banda ancha se dividen en varios canales, por ejemplo los canales de 6 MHz utilizados para la difusión de señales de televisión.

1.2.4 Fibras ópticas

Los desarrollos en el campo de la tecnología óptica han hecho posible la transmisión de información mediante pulsos de luz. Un pulso de luz puede utilizarse para indicar un bit de valor 1, la ausencia de un pulso indicará la existencia de un bit de valor 0. La luz infrarroja se puede trabajar a grandes frecuencias, por lo que el ancho de banda de un sistema de transmisión óptica presenta un potencial muy grande.

Un sistema de transmisión óptica tiene tres componentes: el medio de transmisión, la fuente de luz y el detector. El medio de transmisión es una fibra ultradelgada de vidrio o plástico. La fuente de luz puede ser un *LED (LIGHT EMITTER DIODE: Diodo emisor de luz)*, o un diodo láser. El detector es un fotodiodo que genera un pulso eléctrico en el momento en el que recibe un rayo de luz. Al colocar un *LED* o un diodo láser en el extremo de una fibra óptica, y un fotodiodo en el otro extremo, se tiene una transmisión de datos unidireccional que

acepta una señal eléctrica, que convierte y transmite por medio de pulsos de luz y, al llegar al extremo receptor reconvierte para obtener una señal eléctrica nuevamente.

Este sistema de transmisión tendría fugas de luz y prácticamente sería de poco uso, excepto si no existiera un interesante principio de la física. Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, por ejemplo, del silicio fundido al aire, el rayo se refracta (se desvía) en la frontera silicio / aire, como se muestra en la figura 2-a.

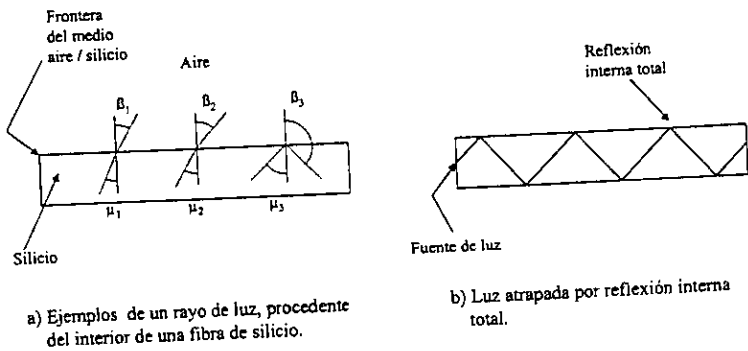


Figura 2. Secciones de fibra óptica.

En esta figura se puede observar la incidencia del rayo de luz sobre dicha frontera, a un ángulo μ_1 emergiendo a un ángulo β_1 , en donde la cantidad de refracción dependerá de las propiedades de los dos medios (en particular, de sus índices de refracción). Para ángulos de incidencia que se encuentren por encima de un valor crítico, la luz se refracta y regresa al silicio; nada de ella escapa al aire. Así, el rayo de luz que incida por encima del mencionado ángulo crítico, queda atrapado en el interior de la fibra, como se muestra en la figura 2-b, y puede propagarse a lo largo de varios kilómetros sin tener, virtualmente, ninguna pérdida.

En la misma figura sólo se muestra un único rayo, pero dado que cualquier rayo de luz incidente, por encima del ángulo crítico, se reflejará internamente, existirá una gran cantidad de rayos diferentes rebotando a distintos ángulos.

A ésta situación se le conoce como *fibra multimodo*. Sin embargo, si el diámetro de la fibra se reduce al valor de la longitud de onda de la luz, la fibra actúa como una guía de ondas, y la luz se propagará en línea recta, sin rebotar produciendo así una *fibra de un solo modo*.

Las fibras de un solo modo necesitan diodos láser (cuyo costo es elevado) para su excitación, y no *LEDs* (que son más económicos), pero con aquellos se asegura una mayor eficiencia y pueden utilizarse en distancias muy largas. En la actualidad los sistemas de fibras ópticas son capaces de hacer transmisiones de datos de 1000 Mbps en 1 kilómetro.

1.2.5 Microondas

Como una alternativa del cable coaxial, en aplicaciones para comunicaciones de larga distancia, se ha utilizado muy ampliamente la transmisión por radio de microondas. Las antenas parabólicas se pueden montar sobre torres para enviar una haz de señales a otra antena que se encuentre a decenas de kilómetros de distancia. Este sistema es ampliamente utilizado en transmisiones telefónicas y de vídeo, cuanta mayor altura tenga la torre, más grande será el alcance que se obtenga. Con una torre de 100 metros de altura, por ejemplo, es posible que la señal alcance a transmitirse entre dos torres separadas por una distancia de 100 Km.

La ventaja de las microondas es que la construcción de dos torres resulta, por lo general, más económica que abrir una zanja de 100 Km de longitud sobre la cual se pueda depositar el cable o la fibra, y posteriormente volver a cubrirla. Las dificultades que se generan con el proceso de excavación de una zanja nunca deberán subestimarse, en especial cuando se necesite hacerlo a través de zonas

habitadas. El hecho de colocar el cable en la zanja no es el único problema al que se enfrenta dicho proyecto, también hay que considerar que a los repetidores colocados a lo largo de la trayectoria, se les tendrá que dar mantenimiento en forma periódica y puede ocurrir que los cables se rompan por diferentes causas, como por ejemplo, la gran cantidad de roedores o de jardineros atareados en cavar los patios traseros de sus casas. Ninguno de estos problemas existe con las microondas.

Por otra parte, las señales de una antena pueden dividirse y propagarse, siguiendo trayectorias ligeramente diferentes, hacia la antena receptora. Cuando estas señales que se encuentran defasadas, se recombinan, puede haber interferencia entre ellas, de tal manera que se reduce la intensidad de la señal. La propagación de las microondas también se ve afectada por las tormentas y otros fenómenos atmosféricos.

La transmisión mediante microondas se lleva a cabo en una escala de frecuencia que va desde 2 a 40 GHz. Estas frecuencias se han dividido en bandas de portadoras comunes para aplicaciones de tipo gubernamental, militar y otras.

1.2.6 Comunicación por satélites

La comunicación mediante satélite tiene algunas propiedades que la hacen atractiva en algunas aplicaciones. Este tipo de comunicación puede imaginarse como si un enorme repetidor de microondas estuviese localizado en el cielo. Está constituido por uno o más dispositivos receptor - transmisor, cada uno de los cuales escucha una parte del espectro, amplificando la señal de entrada y después, la retransmite a otra frecuencia, para evitar los efectos de interferencia con las señales de entrada. El flujo dirigido hacia abajo puede ser muy amplio y cubrir una parte significativa de la superficie de la tierra, o bien, puede ser estrecho y cubrir una área de cientos de kilómetros de diámetro.

Con objeto de prevenir un posible caos en el cielo, se han establecido acuerdos internacionales sobre quién puede hacer uso de ciertas frecuencias. Las bandas

de 3.7-a 4.2 GHz y 5.925 a 6.425 GHz, se han designado como frecuencias de telecomunicación vía satélite, para flujos de información provenientes del satélite o hacia el satélite, respectivamente.

1.3 Transmisión digital

La forma más simple de transmisión digital es la binaria, en la cual a cada elemento de información se le asigna uno de dos posibles estados. En la vida real existen varias situaciones binarias en las que sólo puede haber uno de dos valores posibles, por ejemplo: una lámpara puede estar encendida o apagada, un motor en funcionamiento o no y una persona viva o muerta.

Se ha establecido todo un sistema de numeración basándose en dos valores a los que, por convención, se les asignan los símbolos 1 y 0. Este es el sistema binario cuya base es el 2. La base del sistema numérico habitual es el 10 y se conoce como sistema decimal; otro sistema tiene como base al 8 y se denomina sistema octal, y aún hay otro que es la representación hexadecimal cuya base es 16. El elemento básico de información en el sistema binario se conoce como *bit*, que es la abreviatura de "*binary digit*" (dígito binario). El bit puede valer 1 ó 0 y se puede codificar cierto número de bits para identificar una gran cantidad de información.

Por largo tiempo ha existido la codificación binaria para la información escrita. Un ejemplo es el servicio de teletipo (que es el que se usa para la transmisión de un telegrama), además las computadoras en servicio hoy en día operan con lenguajes binarios.

Los equipos que se usan para realizar estas comunicaciones constituyen los elementos de un sistema de transmisión de datos.

En un sistema binario de transmisión, la unidad de información más pequeña es el bit, y eléctricamente se representan sus dos estados por la presencia o ausencia de flujo de corriente.

El máximo número de bits por segundo que se puede transmitir por un canal determinado (línea telefónica, radio, etc.) es una característica del mismo canal y la limitación viene impuesta por el nivel de ruido que presente este. Si se intenta transmitir más bits por segundo de los que el canal es capaz de admitir, se perderá cierta información. No existe un número máximo exacto de bits por canal en el sentido de que, por ejemplo, los mensajes transmitidos a 1204364 bps se reciben sin error y los transmitidos a 1204365 llegan irremediamente perturbados. Lo que ocurre es que a medida que aumenta el caudal de bits, también aumenta el caudal de errores.

1.3.1 Modulación

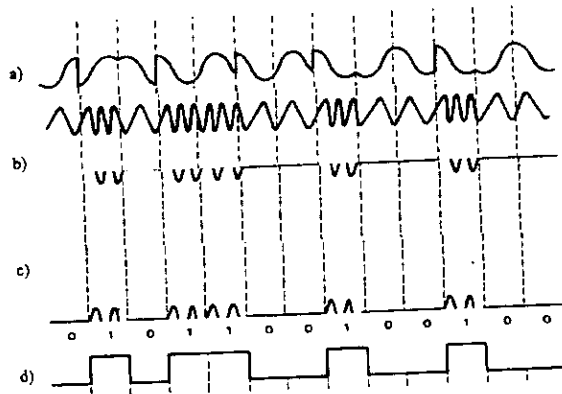
La información que entra o sale de un sistema digital se encuentra indiscutiblemente en forma binaria. Estas señales de dos niveles sufren una considerable distorsión cuando se transmiten por cualquier medio conductor, con lo que se originan errores en la transmisión. Sin embargo una señal sinusoidal pura con una frecuencia de 1000 a 2000 Hz, se puede transmitir con poca distorsión, y este hecho se ha explotado como base de la mayor parte de los sistemas de telecomunicación.

Las pulsaciones de una onda sinusoidal son perfectamente predecibles, pero así tal cual no transmite información en absoluto. No obstante, al variar la amplitud, la frecuencia o la fase, se puede transmitir una serie de unos y ceros como muestra la **figura 3**. Este proceso se llama modulación.

La utilización de cada uno de estos parámetros establece una clasificación de los métodos de modulación en función de que propiedad de la onda se altera para transportar las propiedades binarias del mensaje.

1.3.1.1 Modulación de amplitud

En la modulación de amplitud (figura 3b) se usan dos niveles diferentes de voltaje para 0 y 1, respectivamente. Una persona que escuche los datos digitales transmitidos a una velocidad muy baja, oíría un sonido para los unos y nada para los ceros.



a) Señal binaria. b) Modulación por amplitud.
c) Modulación de frecuencia. d) Modulación de fase.

Figura 3. Tipos de modulación.

Este tipo de modulación no se usa por si misma en comunicación de datos, debido a que es muy sensible al ruido eléctrico y daría rendimientos muy malos en la transmisión de la información.

La modulación en amplitud tiene desventajas significativas para la transmisión binaria, entre las que se incluye la susceptibilidad a cambios repentinos de ganancia.

1.3.1.2 Modulación de frecuencia

En esta modulación, como se observa en la figura 3c, el nivel de voltaje es constante, la variante en este caso es la frecuencia. Una persona que oyera los

datos digitales en modulación de frecuencia, oírán dos tonos uno correspondiente al 0 y otro al 1. Así por ejemplo, los ceros se transmiten a 90 Hz y los unos a 180.

Esta modulación presenta la ventaja de que la construcción no es tan complicada como en un sistema de modulación por amplitud y además puesto que las señales que se reciben se pueden amplificar y limitar en el receptor, se puede emplear un simple amplificador limitador, mientras que en el sistema de modulación por amplitud se requiere un control automático de ganancia elaborado para operar en un amplio rango de niveles.

Se aplica principalmente en la radiotransmisión a altas frecuencias.

1.3.1.3 Modulación de fase

En esta modulación (ver figura 3-d) la amplitud y la frecuencia son constantes, ahora la fase es la que cambia cuando los datos pasan de 0 a 1 o de 1 a 0. Comúnmente se usan dos formas de modulación que son; *dos fases*, y *fase relativa*.

En el sistema de dos fases se utiliza una fase de la frecuencia portadora para uno de los estados binarios y, la otra, para el otro estado. Las fases están separadas 180° y se detectan en el receptor mediante un detector síncrono en el que se utiliza una señal de referencia cuya fase con respecto a la señal de entrada se conoce. La señal de referencia tiene la misma frecuencia que la portadora de la señal de entrada y se ajusta de manera que esté en fase con una de las señales binarias. En los sistemas de fase relativa, el "1" binario se representa mediante el envío de una ráfaga de señal cuya fase es la misma que la de la ráfaga que se envió previamente y el "0" binario se representa mediante una ráfaga de señal con fase opuesta a la de la ráfaga previa. Las señales se modulan en el receptor mediante la integración y almacenamiento de cada ráfaga de señal durante el periodo de 1 bit para comparar su fase contra la de la señal siguiente. Entre las ventajas de este tipo de modulación se encuentra la utilización de toda la potencia

de que se dispone para transportar la información y la facilidad para transportar datos a altas velocidades.

La desventaja de tales sistemas es la complejidad del equipo que se requiere.

En los sistemas más perfeccionados de modulación de fase cada ciclo puede tener cuatro estados (0 grados, 90, 180 ó 270) por lo que representa dos bits (00, 01, 10, 11) llamados dibits. No hay que extrañarse de que un módem con esta modulación trabaje a 600 baudios (o lo que es mas importante, ocupe un ancho de banda correspondiente a 600 cambios por segundo) y sin embargo, funcione a 1200 bps.

1.3.1.4 Modulación bifase

Ya se explicaron los tipos de modulación más comunes, pero debido a que el sistema *SONIMP* no trabaja con ninguno de ellos, se explicará a continuación en que consiste la modulación bifase.

Este tipo de modulación es relativamente simple y como observamos en la señal modulada de la **figura 4**, al inicio de cada bit siempre ocurre una transición de estado lógico y si dicho bit es uno lógico, hay una transición adicional a medio bit.

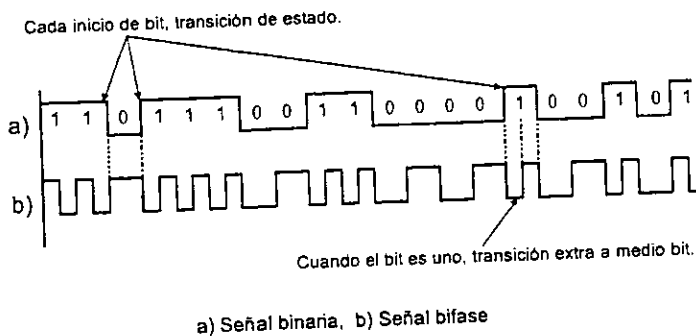


Figura 4. Modulación bifase.

Si el bit a transmitir es cero lógico, no hay transición alguna durante el tiempo que dura el bit.

En otras palabras, un cero se representa por medio ciclo de una onda con frecuencia de la mitad del valor del bit. Un uno lógico es representado por un ciclo completo de una onda con frecuencia igual al valor del bit. Por ejemplo, en el caso de operar a 100 kilobauds, una fila continua de unos genera una señal con frecuencia constante de 100 KHz, mientras que una fila de ceros genera una señal de 50 KHz.

Una ventaja que ofrece este tipo de modulación es que no se necesitan dos líneas de transmisión, una para la señal modulada y la otra para enviar un reloj de sincronización, sino que el reloj se puede recuperar en el receptor con la misma secuencia de bits modulados.

Dado que al modular o demodular solamente se lee el bit en su estado intermedio para incluir o no la transición de estado, dicho bit puede variar teóricamente hasta en un $\pm 25\%$. Es decir, el bit puede adelantarse atrasarse, o deformarse en su inicio o en su final, y solamente será necesario que se conserve en su parte intermedia para que pueda ser identificado.

La modulación bifase hace uso eficiente, relativamente, del ancho de banda del medio transmisor, ya que el desempeño está en función del valor de tiempo de un bit y la máxima frecuencia transmitida. En este caso; un bit es transmitido en un solo ciclo de la frecuencia máxima utilizada, mientras que para la modulación de frecuencia, por ejemplo, son necesarios varios ciclos de la máxima frecuencia para transmitir un bit.

1.3.2 Necesidad de sincronización en un sistema

Cuando se generan señales y se transmiten de un punto a otro, la velocidad en el transmisor y receptor debe ser la misma o muy cercana. En el momento en que el dispositivo receptor acumula un error de sincronía superior al 50% del período de un bit se generará un error en la transmisión.

Todos los sistemas de transmisión de datos que se usan comúnmente, se sincronizan de alguna manera.

El dispositivo de transmisión y su correspondiente receptor en el extremo lejano del circuito, deben contener un sistema de sincronía. En la práctica normal el transmisor es el reloj maestro del sistema; en el receptor también existe un reloj que en todo caso se corrige a través de ciertos medios con su correspondiente reloj maestro en el transmisor.

Otro factor importante en la sincronización es el tiempo que toma a la señal viajar del transmisor al receptor, que se conoce como tiempo de propagación. El tiempo de duración de un bit a la velocidad de datos de 100 bps es de diez milisegundos y, por lo tanto, el receptor debe retardar su reloj 10 ms en este caso para estar a tiempo con la señal de entrada. La temperatura y otras variaciones en el medio pueden afectar también al retardo, así como las variaciones en el reloj maestro del transmisor.

Básicamente existen tres métodos para solucionar estos problemas. Uno es instalar un circuito separado de sincronía para hacer al reloj del receptor esclavo del reloj maestro del transmisor. Sin embargo, con esto se desperdicia ancho de banda, ya que se usa un canal única y exclusivamente para la sincronización. El segundo método, que se usaba ampliamente hasta hace pocos años, consiste en añadir un pulso especial de sincronía para agrupar los pulsos de información, generalmente por carácter. Este método es similar al de sincronización por arranque y parada, pero su principal desventaja es que desperdicia capacidad de información en la sincronización. El sistema que prevalece en uso hoy en día usa sincronía de transición, en la que el dispositivo de recepción se ajusta automáticamente a la rapidez de señalización del transmisor mediante el muestreo de las transiciones de los pulsos de entrada. Este tipo de sincronía ofrece múltiples ventajas, en particular la compensación automática de las variaciones en el tiempo de propagación, además de que el receptor determina la tasa promedio

de repetición y fase de la señal de transición que entra y ajusta correspondientemente su propio reloj.

Nótese que la sincronía atañe tanto a la frecuencia como a la fase y que el error común en los sistemas con alta estabilidad es un error de fase (es decir, los extremos frontales de los pulsos que se reciben están ligeramente adelantados o retrasados respecto a los pulsos equivalentes del reloj del dispositivo receptor).

Algunos sistemas con alta estabilidad requieren resincronización únicamente una vez al día.

B.C.J.

1.3.2.1 Transmisión asíncrona

Al empezar la telegrafía impresa se desarrolló la transmisión u operación asíncrona para solucionar el problema de sincronía. En este caso la temporización empieza al comienzo de un carácter y termina al final, se añaden dos elementos de señal a cada carácter para indicar al dispositivo receptor el comienzo de éste y su terminación (bits de inicio y de parada).

En esta transmisión el tiempo que transcurre entre el envío de palabra y palabra no es fijo, sin embargo el tiempo entre dos bits consecutivos si es fijo, tal como se muestra en la figura 5.

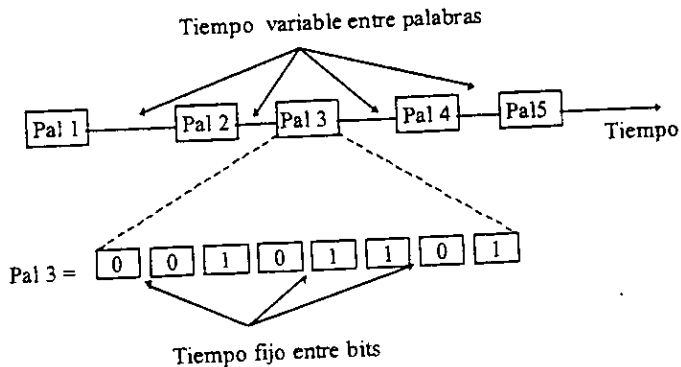


Figura 5. Transmisión asíncrona.

De aquí surge el problema de cómo reconocerá el receptor el inicio de cada palabra. En caso de que se utilizaran los métodos de modulación estudiados anteriormente, no hay forma de distinguir entre un 0 y una ausencia de dato. Una palabra que constara totalmente de ceros pasaría inadvertida ya que el receptor no tendría forma de identificar el principio de la palabra.

Para solucionar este problema se transmite un bit de inicio antes de cada palabra y para aumentar la fiabilidad se transmiten uno o dos bits de parada o de fin de palabra al terminar cada una de estas. Regularmente la línea se mantiene en 1 cuando no se transmiten datos, por tanto el bit de inicio es 0 y los bits de finalización son 1. Entre los bits de inicio y los de fin, los bits de datos se transmiten a intervalos regulares tal como se ve en la **figura 5**.

Cuando llega el bit de inicio, se habilita un cronómetro en el receptor permitiéndole identificar a cada bit de la palabra.

Las velocidades más usadas en la transmisión asíncrona son 110, 300, 600, 120 y 2400 bps.

1.3.2.2 Transmisión síncrona

Como podemos observar en la **figura 6**, en la transmisión síncrona no existen bits de inicio ni de parada (que no llevan información) y como resultado se tiene un incremento en la velocidad de transmisión operando de 4800 a 9600 bps y aún mayores velocidades.

En este sistema, una vez que los modems se han sincronizado, continúan mandando palabras para mantener la sincronización aunque no haya datos que transmitir. En esta transmisión a diferencia de la asíncrona, el tiempo entre dos palabras consecutivas es siempre el mismo y además se requiere que los relojes del transmisor y receptor permanezcan sincronizados largo tiempo, dependiendo éste de la estabilidad de los relojes. Por lo regular los relojes son lo suficientemente estables para permitir el envío de bloques de cientos de caracteres sin tener que resincronizarse.

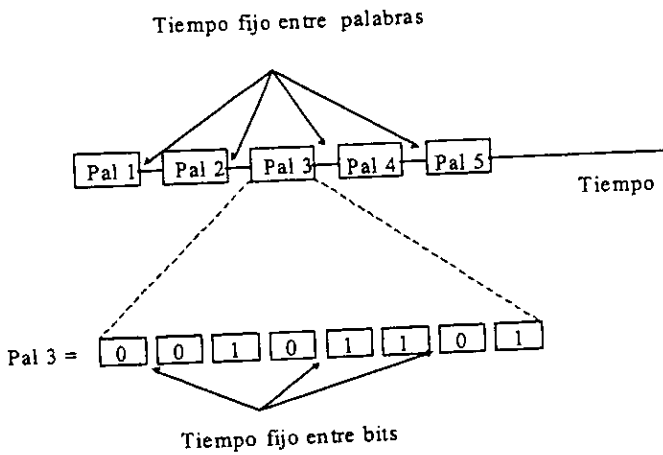


Figura 6. Transmisión síncrona.

Estos bloques a menudo utilizan códigos detectores de errores de transmisión.

En los sistemas síncronos de datos y telegrafía no existen los elementos de arranque y terminación, sino que la información consta de un flujo continuo de elementos o bits.

1.3.3 Modos de transmisión

En comunicaciones se utilizan tres modos de transmisión: simplex, semidúplex y dúplex. Una línea simplex es capaz de transmitir datos en una sola dirección.

La razón de esto no está en una propiedad de los medios conductores, sino que simplemente en el hecho de que un extremo sólo tiene transmisor y el otro sólo receptor. Las emisiones de radio y televisión son ejemplos de transmisión simplex.

Una línea semidúplex puede enviar y recibir datos en ambas direcciones pero no simultáneamente. Durante una transmisión un módem es transmisor y el otro es receptor. Suele ocurrir que el dispositivo A, que actúa de transmisor, envíe series de caracteres al dispositivo B, que actúa de receptor. A continuación A y B cambian simultáneamente sus papeles y B envía un mensaje de vuelta a A especificando si los caracteres fueron recibidos con o sin error. Si no hubo errores de transmisión, A y B cambian de nuevo sus papeles y A envía el siguiente mensaje a B. Si hubo errores, A retransmite de nuevo el mensaje perturbado. La comunicación entre el transmisor y el receptor sobre que es lo que se va a hacer después se llama protocolo. El tiempo necesario para cambiar una línea semidúplex de sentido puede ser el de muchos caracteres, teniendo como ejemplo los walkie talkies.

Una línea dúplex puede enviar y recibir datos en ambas direcciones a la vez. Conceptualmente una línea dúplex, equivale a dos simplex, una en cada dirección. Puesto que se pueden efectuar dos transmisiones en paralelo, una en cada sentido, una línea dúplex puede transmitir más información que una semidúplex de igual capacidad. Además las líneas dúplex no pierden tiempo en invertir el sentido de la transmisión. Un ejemplo de transmisión dúplex es el teléfono.

1.3.4 Multiplexación

Las señales se transmiten de un punto a otro por un canal que puede tener la forma de línea de transmisión o simplemente por el espacio abierto.

En general, cada una de las señales transmitidas tienen ancho de banda finito y pequeño, comparado con el ancho de banda del canal mismo. Por lo tanto, si sólo se transmite una señal por canal, éste no se aprovecha adecuadamente, pues se le hace funcionar muy por debajo de su capacidad de transmitir información; sin embargo, no podemos transmitir directamente más de una señal a la vez, porque esto causará interferencia entre las señales y éstas no las podríamos recuperar individualmente en el extremo receptor. Eso significa que no

es posible, mediante un método directo, transmitir más de una conversación en una línea telefónica, ni explotar simultáneamente más de una estación de radio o de televisión.

Se verá que, empleando las técnicas de multiplexación por división de frecuencia o de tiempo, se pueden transmitir varias señales simultáneamente en un mismo canal.

1.3.4.1 Multiplexación por división de frecuencia y de tiempo

Como se mencionó anteriormente la transmisión de una sola señal por un canal es una situación de mal aprovechamiento. Sin embargo, esto se mejorará si logramos trasladar los espectros de las diferentes señales para que ocupen rangos diferentes de frecuencia sin traslaparse.

Si modulamos una señal (al multiplicar por una señal sinusoidal) se traslada su espectro de frecuencia. En consecuencia, empleando las técnicas de la modulación, se puede transmitir simultáneamente por un canal un gran número de señales.

En el caso de varias señales, se traslada el espectro de cada una en una cantidad adecuada, para evitar el traslapamiento de los diferentes espectros. En el extremo receptor se separan las diferentes señales mediante filtros apropiados; sin embargo: los espectros individuales así separados, no representan la señal original ya que han sufrido una traslación. Así, para obtener la señal original, se debe trasladar cada espectro en la cantidad adecuada, de modo que recupere su forma original.

La modulación cumple con otro importante propósito en los sistemas que transmiten señales por radiación en el espacio. En la teoría de las ondas electromagnéticas se demuestra que sólo se puede radiar una señal en forma efectiva si la antena radiadora es del orden de un décimo o más de la longitud de onda correspondiente a las frecuencias de las señales radiadas. En la voz

humana, la frecuencia máxima es de aproximadamente 10,000 Hz., lo cual corresponde a una longitud de onda mínima de 30,000 metros.

Así, para radiar ondas electromagnéticas que correspondan al rango de frecuencia de la voz humana, se necesitaría una antena de varios kilómetros de longitud; esto desde luego, no es nada práctico.

El proceso de modulación traslada el espectro de frecuencia a cualquier rango de frecuencia superior que resulte conveniente, haciendo más fácil radiarlo mediante ondas electromagnéticas. En la práctica, todas las señales de radio y de televisión están moduladas, es decir, el espectro de frecuencia está trasladado a un rango más alto. Por consiguiente, la modulación no solamente permite la transmisión simultánea de varias señales sin interferencia entre ellas, sino que también hace posible su transmisión (radiación) efectiva.

El método de traslación de frecuencia que hemos mencionado no es la única forma de transmitir simultáneamente varias señales en un canal. Se ha demostrado que se puede reconstruir la señal completa a partir solamente del conocimiento de sus valores en algunos instantes. Por consiguiente, sólo se tienen que transmitir las muestras de la señal en un número finito de instantes. Así, el canal no queda ocupado más que en esos instantes y no se envían señales durante el resto del tiempo. Entonces, se pueden intercalar las muestras de varias señales en el canal. En el extremo receptor, las muestras se separan mediante un detector síncrono adecuado.

Por lo tanto; es posible transmitir varias señales simultáneamente por un canal siempre que se les pueda separar en el extremo receptor quedando especificada cada señal en el dominio del tiempo o el dominio de la frecuencia. Así, en el receptor, recuperamos individualmente las señales, ya sea en el dominio del tiempo o de la frecuencia. En el método de la traslación de frecuencia, todas las señales se mezclan en el dominio del tiempo, pero sus espectros están separados

de manera que ocupan diferentes bandas de frecuencia. Se recuperan las señales en el receptor empleando filtros adecuados.

Este procedimiento, en el que las diferentes señales comparten diferentes intervalos de frecuencia, se conoce como sistema de multiplexación por división de frecuencia. El sistema, en el que todas las señales comparten los diferentes intervalos de tiempo se conoce como sistema de multiplexación por división de tiempo.

1.3.5 Errores de transmisión

Desafortunadamente, los circuitos de comunicación cometen errores de vez en cuando, además, sólo tienen una velocidad de transmisión de datos finita y hay un retardo de propagación diferente de cero, entre el tiempo que transcurre desde que un bit se envía hasta que se recibe.

Estas limitaciones, asociadas con la velocidad finita de las máquinas para procesar los datos, tienen implicaciones muy importantes en la eficiencia de la transferencia de datos.

Los protocolos que se utilizan para las comunicaciones deberán tomar en consideración todos estos factores y son el tema de esta sección.

1.3.5.1 Entramado

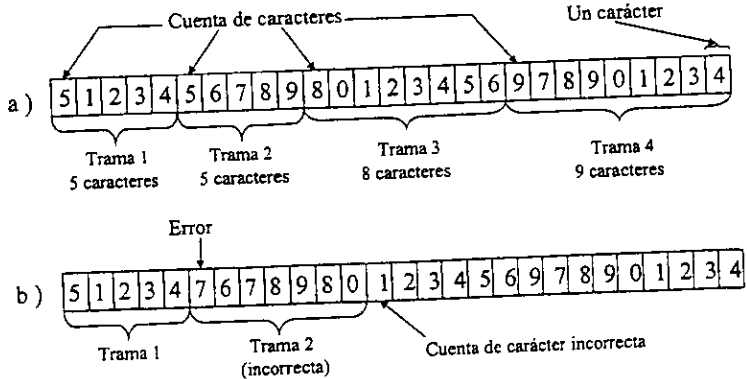
El número de bits que se reciben puede ser menor que, igual que, o mayor que el número de bits que se transmitieron, y tener diferentes valores como se ejemplifica en la **figura 7**.

Un planteamiento normal para solucionar este problema consiste en dividir el flujo de datos en tramas discretas y calcular un código de redundancia de cada una de estas tramas (los algoritmos referentes a los códigos de redundancia se estudiarán posteriormente). El código de redundancia se calcula de nuevo en el momento en que la trama llega a su destino; de tal forma que si el código de

redundancia calculado es diferente del contenido en la trama, el receptor sabrá que ha ocurrido un error, y toma las medidas convenientes para tratarlo (por ejemplo, descartar las tramas incorrectas y enviar de regreso un informe sobre el tipo de error).

El hecho de dividir el flujo de datos en tramas es más difícil de lo que al comienzo parece. Una forma de realizar el encapsulado de la trama consiste en incluir intervalos de tiempo entre tramas, de manera similar a los espacios entre las palabras en un texto ordinario, pero dado que es demasiado arriesgado se han diseñado otros métodos alternativos para tal efecto.

- Cuenta de caracteres.
- Caracteres de inicio y final, con inserción de carácter.



a) Flujo de caracteres sin errores.
b) Flujo de caracteres con un error.

Figura 7. Ejemplos de entramados.

El primer método de encapsulado de tramas utiliza un campo en la cabecera, para especificar el número de caracteres en la trama. En el momento en el cual el

extremo destinatario ve la cuenta de caracteres, se entera del número de caracteres que siguen y, por consiguiente, dónde termina la trama. En la **figura 7-a** se muestra esta técnica para cuatro tramas, de tamaño 5, 5, 8 y 9 caracteres, respectivamente.

El problema que se tiene con este algoritmo es que la cuenta puede distorsionarse por un error de transmisión. Por ejemplo, si el carácter de cuenta, con valor de 5 en la segunda trama de la **figura 7-b**, llega a tener un valor de 7, el extremo destinatario se desincronizará y será incapaz de localizar el inicio de la siguiente trama.

Por esta razón, el método de cuenta de caracteres se utiliza muy rara vez actualmente.

El segundo método de encapsulado de trama, le da la vuelta al problema de la resincronización después de un error, al hacer que cada una de las tramas comience con la secuencia de caracteres ASCII DLE STX, y termine con la secuencia DLE ETX (DLE, STX y ETX significan: escape de enlace, inicio de texto y el fin de texto, respectivamente). De esta manera, si el destino alguna vez pierde la pista de los límites de la trama, todo lo que necesita hacer es buscar los caracteres DLE STX o DLE ETX.

1.3.5.2 Naturaleza de los errores

Después de haber resuelto el problema de marcar el inicio y el final de cada trama, se abordará el siguiente problema, que consiste en cómo tener la seguridad de que todas las tramas son eventualmente entregadas al destinatario y, además, en el orden apropiado. Supóngase que el extremo emisor sigue enviando tramas sin observar si están llegando en el orden apropiado.

La forma común para asegurar una entrega fiable consiste en proporcionarle al extremo emisor algún tipo de retroalimentación con respecto a lo que está sucediendo en el otro extremo de la línea. Por lo general, el mismo protocolo le

solicita al receptor que envíe de vuelta unas tramas especiales de control, que denotan implícitamente una buena o mala recepción de las tramas que llegan. Si el emisor recibe buena respuesta sobre una trama, sabrá que la trama llegó bien. Por otra parte, una respuesta negativa, significará que algo malo ha ocurrido y que la trama se debe transmitir de nuevo.

Otro aspecto que podría llegar a complicar esto aún más es la posibilidad de que los problemas de hardware ocasionen que la trama se pierda por completo. En este caso el receptor no reaccionará en absoluto dado que no tendrá motivo para hacerlo. Deberá quedar claro que un protocolo en el cual el extremo emisor envía una trama y espera la respuesta sea ésta positiva o negativa, se quedará esperando para siempre si una trama se llega a perder por completo debido a un mal funcionamiento del hardware del sistema.

Esta posibilidad se elimina mediante la introducción de temporizadores. Cuando el emisor envía una trama, generalmente también inicia un temporizador. El temporizador se ajusta para que venza después de que transcurra un intervalo suficientemente largo para que la trama pueda llegar hasta su destino, se procese ahí y que la respuesta se propague de regreso al emisor. La trama por lo regular, se recibirá en forma correcta y la respuesta regresará antes de que el tiempo establecido en el temporizador termine, en cuyo caso éste se cancelará.

Sin embargo, si por alguna razón se llegara a perder la trama o la respuesta, el temporizador vencerá, avisándole al emisor de la existencia potencial de un problema. La solución obvia consiste simplemente en transmitir la trama nuevamente. Sin embargo, cuando las tramas deban transmitirse en múltiples ocasiones existe el peligro de que el receptor quiera aceptar la misma trama dos o más veces. Para prevenir que esto no suceda se necesita asignar números de secuencia a las tramas de salida, de tal manera que el receptor pueda distinguir la información retransmitida con respecto a la original.

1.3.5.3 Detección y corrección de errores

Como se sabe, los errores de transmisión se presentan en forma cotidiana y son provocados por varios fenómenos físicos. Resulta imposible producir una portadora de onda perfecta, su amplitud, frecuencia y fase siempre exhibirán ciertas fluctuaciones.

Por ello se han desarrollado dos estrategias fundamentales para tratar los errores. Una de ellas consiste en incluir suficiente redundancia junto con cada bloque de datos enviado, para permitirle al receptor deducir que ocurrió un error y que tiene que solicitar una retransmisión. La otra estrategia consiste en incluir una cantidad suficiente de información redundante para permitirle al receptor deducir cuál fue el carácter que se transmitió. La primera estrategia utiliza códigos detectores de errores, mientras que la otra emplea códigos correctores de errores.

Existen diferentes métodos para contrarrestar los efectos de los errores, por ejemplo, en el antiguo código Morse se enviaban dos veces las palabras sobre un circuito defectuoso, lo cual es redundancia en su forma más simple. Naturalmente, se tomaba el doble de tiempo para enviar el mensaje, además de que no es rentable si se compara la cantidad de palabras útiles que se reciben por minuto contra la ocupación del canal. Lo siguiente ilustra el compromiso entre la redundancia y la eficiencia del canal. La redundancia se puede incrementar a un grado tal que la tasa de error se acerque a cero, pero la transferencia de información o eficiencia sobre el canal también se aproximará a cero. En consecuencia, la redundancia que no sea sistemática es un desperdicio y reduce únicamente la tasa de comunicación útil.

Por otro lado, se puede obtener la máxima eficiencia en el sistema de transmisión digital si de la corriente de bits que se transmite se elimina la redundancia. Obviamente hay un compromiso entre costo y beneficio en algún punto entre la máxima eficiencia sobre un circuito de datos y la redundancia que se añade sistemáticamente.

1.3.5.3.1 Códigos detectores de error

Un método muy simple pero ampliamente utilizado para detectar errores consiste en añadir un bit de paridad a cada carácter. En un código de paridad impar, el bit de paridad se elige de modo que el número de bits "1" en el carácter sea impar incluyendo el bit de paridad. En un código de paridad par, el bit de paridad se elige de modo que el número de bits "1" sea par incluyendo el de paridad.

Un método más sofisticado es el uso del código polinómico (también conocido como código de redundancia cíclica o código CRC). Los códigos polinómicos se basan en el tratamiento de series de bits como si fueran representaciones de polinomios, con coeficientes de valor 0 y 1 únicamente. Una trama de k bits se ve como una lista de coeficientes de un polinomio con k términos, cubriendo un rango desde x^{k-1} hasta x^0 . A este tipo de polinomio se le conoce como polinomio de grado $(k - 1)$. El bit de orden más alto (el más a la izquierda) es el coeficiente correspondiente al término x^{k-1} el siguiente bit es el coeficiente de x^{k-2} , y así sucesivamente. Por ejemplo, el código 1 10001 tiene 6 bits y, por consiguiente, representa a un polinomio de seis términos, que contiene los siguientes coeficientes 1, 1, 0, 0, 0 y 1, es decir: $x^5 + x^4 + x^0$.

De acuerdo con las reglas de la teoría del campo algebraico, la aritmética del polinomio se realiza en módulo 2. No hay términos de acarreo para la suma ni de préstamo para la resta; las dos operaciones son idénticas al OR EXCLUSIVO. Por ejemplo:

10011011	00110011	11110000	01010101
+ 11001010	+ 11001101	- 10100110	- 10101111
-----	-----	-----	-----
01010001	11111110	01010110	11111010

La división larga se realiza de la misma manera que en el caso binario, con excepción de la resta que se efectúa en módulo 2, como en el caso anterior. Se dice que el divisor cabe en el dividendo, si tiene tantos bits como este último.

Cuando se emplea el método del código polinómico, el emisor y el receptor deberán estar de acuerdo respecto a un polinómico generador, $G(x)$, en forma anticipada. Los bits de orden superior e inferior del generador deben ser 1. Para calcular el código de redundancia de alguna trama con m bits, correspondiente al polinomio $M(x)$, la trama deberá ser más grande que el polinomio generador. La idea básica consiste en incluir un código de redundancia al final de la trama, de tal manera que, el polinomio representado por la trama con el código de redundancia sea divisible por $G(x)$. Cuando el receptor recibe la trama de suma comprobada, intenta dividirla entre $G(x)$. Si existe un resto, habrá ocurrido un error de transmisión.

En la figura 8 se muestra un ejemplo del cálculo del CRC y a continuación se presenta el algoritmo:

1. Sea r el grado de $G(x)$. Agregar r bits cero al extremo de orden inferior de la trama, de tal manera que ahora contenga $m + r$ bits, y corresponda al polinomio $x^r M(x)$.
2. Dividir la serie de bits correspondientes a $x^r M(x)$ entre la serie de bits correspondientes a $G(x)$, empleando la división en módulo 2.
3. Restar el resto (que siempre tiene r o menos bits) de la serie de bits correspondientes a $x^r M(x)$, empleando la resta en módulo 2. El resultado es la trama lista para transmitir. Se le llamará $T(x)$ a este polinomio.

Deberá quedar claro que $T(x)$ es divisible (módulo 2) por $G(x)$. En cualquier problema de división, si se le disminuye el resto al dividendo, lo que queda es

divisible por el divisor. Por ejemplo, considerando la base 10, si se divide 210278 entre 10941, el resto es 2399. Al restar 2399 de la cantidad 210278, el resultado que queda (207879) es divisible por 10941.

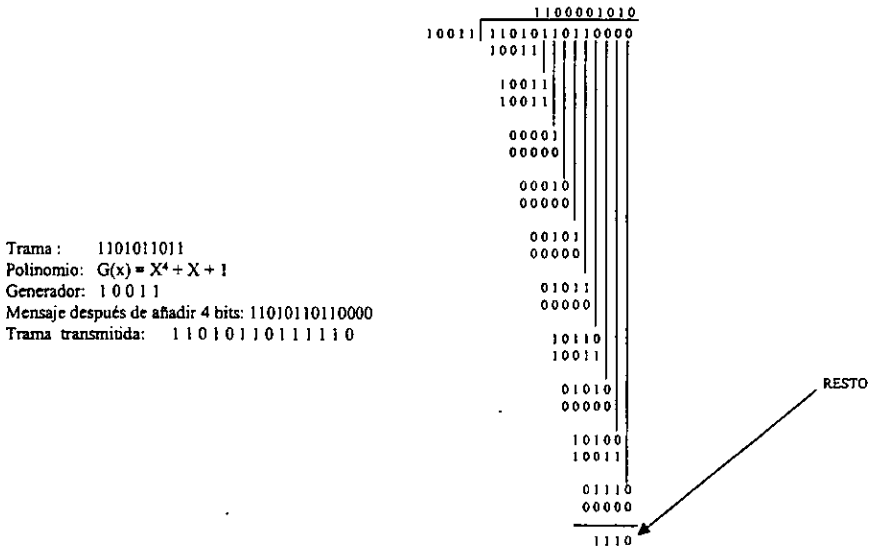


Figura 8. Cálculo del código de redundancia.

Ahora se analizará la potencialidad de este método. ¿Qué tipo de errores se detectarán? Imagínense que ocurre un error en una transmisión, así que, en lugar de recibir el polinomio para $T(x)$, llega $T(x) + E(x)$. Cada bit con valor de 1 en $E(x)$ corresponde a un bit que se ha invertido. Si hay k bits 1 en $E(x)$, habrá ocurrido k errores de un solo bit. Una sola ráfaga de errores se caracteriza por tener un 1 inicial, una mezcla de 0 y 1, y un 1 final, con el resto de los bits teniendo un valor de 0.

Una vez que se recibe la trama con la redundancia, el receptor la divide entre $G(x)$, es decir, calcula $(T(x) + E(x))/G(x)$. El término $T(x)/G(x)$ siempre tiene un

valor de 0, así que el resultado del cálculo es simplemente $E(x)/G(x)$. Aquellos errores que llegaran a corresponder a polinomios que contienen $G(x)$ como factor, pasarán inadvertidos, pero todos los demás errores quedarán detectados.

Si llega a ocurrir un error de un solo bit, $E(x) = x^i$, donde el valor de i determina cuál es el bit que contiene el error. Si $G(x)$ contiene dos o más términos, nunca dividirá a $E(x)$, así que todos los errores de un solo bit serán detectados.

Si llegan a ocurrir dos errores aislados de un solo bit, $E(x) = x^i + x^j$ donde $i > j$.

En forma alternativa, esta expresión se puede escribir como $E(x) = x^j(x^{i-j} + 1)$.

Si se supone que $G(x)$ no es divisible por x , una condición suficiente para que todos los errores dobles sean detectados es que $G(x)$ no divida a $x^k + 1$, para cualquier k hasta un valor máximo de $i - j$ (es decir, hasta la máxima longitud de la trama).

Se conocen algunos polinomios simples, de grado inferior, que brindan protección a tramas largas. Por ejemplo, $x^{15} + x^{14} + 1$, no dividirá a $x^k + 1$, para ningún valor de k que esté por debajo de 32768.

Si hay un número impar de bits con error, $E(x)$ contiene un número impar de términos (por ejemplo, el polinomio $x^5 + x^2 + 1$, pero no $x^2 + 1$). Resulta muy interesante el hecho de ver que no hay polinomios con un número impar de términos que tengan $x + 1$ como factor en el sistema de módulo 2. Al hacer $x + 1$ factor de $G(x)$, se pueden atrapar todos los errores que tengan un número impar de bits invertidos.

Para ver que no hay polinomio, con un número impar de términos, que pueda ser divisible por $x + 1$, supóngase que $E(x)$ tiene un número impar de términos y es divisible por $x + 1$. Factorícese $E(x)$ en $(x+1) Q(x)$. Ahora, evalúese $E(1) = (1 + 1) Q(1)$. Dado que $1 + 1 = 0$ (módulo 2), $E(1)$ deberá ser igual a cero. Si

$E(x)$ tiene un número impar de términos, al substituir 1 en x , en cualquier caso, siempre conducirá a un resultado igual a 1. Por lo tanto, ningún polinomio con un número impar de términos será divisible por $x + 1$.

Por último, y de gran importancia, un código polinómico con r bits de redundancia, podrá detectar todas las ráfagas de errores de longitud $\leq r$. Una ráfaga de error de longitud k puede presentarse por la expresión $x^i(x^{k-1} + \dots + 1)$, donde i determina qué tan lejos del extremo derecho de la trama recibida, queda localizada la ráfaga. Si $G(x)$ contiene un término x^0 , no tendrá a x^i como factor, por lo cual, si el grado de la expresión entre paréntesis es menor que el grado de $G(x)$, el resto nunca podrá ser cero.

Si la longitud de la ráfaga es $r + 1$, el resto de la división por $G(x)$ será cero si, y sólo si, la ráfaga es idéntica a $G(x)$. De acuerdo con la definición de ráfaga, el primero y el último bit deben ser 1, por lo que la identidad dependerá de los $r - 1$ bits intermedios. Si todas las combinaciones se vieran como idénticas, la probabilidad de que semejante trama incorrecta se pudiera aceptar como válida sería de $\frac{1}{2}^{r-1}$.

También se puede demostrar que, cuando ocurre una ráfaga de error mayor de $r + 1$ bits, o bien, que ocurren varias ráfagas cortas, la probabilidad de que una trama mala pase inadvertida es de $\frac{1}{2}^r$, suponiendo que todos los conjuntos de bits son semejantes.

Tres polinomios se han convertido en normas internacionales:

$$CRC-12 = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$$

$$CRC-16 = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$CRC-CCITT = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

Los tres contienen el término $x + 1$ como factor primo. El *CRC-12* se utiliza cuando la longitud del carácter es de 6 bits; en tanto que los otros dos se emplean

para caracteres de 8 bits. Un código de redundancia de 16 bits, como las normas *CRC-16* o *CRC-CCITT*, captura todos los errores simples y dobles, todos los errores con un número impar de bits, todos los errores de ráfagas con longitudes de 16 o menos bits, 99.997% de los errores de ráfagas de 17 bits y 99.998% de los errores de ráfagas de longitudes de 18 bits o mayores.

Aunque el cálculo requerido para obtener los bits de redundancia puede parecer complicado, Peterson y Brown (1961) demostraron que un simple circuito de registro de desplazamiento puede construirse para calcular y comprobar los bits de redundancia por hardware (*Redes de ordenadores; Andrew S. Tanenbaum*).

En la práctica, casi siempre se utiliza este hardware.

1.3.5.3.2 Códigos correctores de errores

Richard Hamming (1950) ideó un método para corregir errores y se conoce como código de Hamming. En él se añaden k bits de paridad a un carácter de n bits, formando un nuevo carácter de longitud $n + k$ bits. Los bits se numeran empezando por 1, no por cero, siendo el bit 1 el de la izquierda (el más significativo). Todo bit cuyo número sea potencia de dos es un bit de paridad y los demás se utilizan para datos. Para un carácter *ASCII* de 7 bits, se añaden 4 bits de paridad. Los bits 1,2,4 y 8 son bits de paridad; 3,5,6,7,9,10 y 11 son los 7 bits de datos.

Cada bit de paridad comprueba determinadas posiciones de bit y se ajusta de modo que el número total de unos en las posiciones comprobadas sea par.

Las posiciones de los bits comprobados por los de paridad son:

El bit 1 comprueba los bits 1,3,5,7,9 y 11.

El bit 2 comprueba los bits 2,3,6,7,10 y 11.

El bit 4 comprueba los bits 4,5,6, y 7.

El bit 8 comprueba los bits 8,9,10 y 11.

En general, el bit n es comprobado por los bits b_1, b_2, \dots, b_j , tales que $b_1 + b_2 + \dots, b_j = n$. Por ejemplo, el bit 5 es comprobado por los bits 1 y 4 porque $1 + 4 = 5$. El bit 6 es comprobado por los bits 2 y 4, etc. La figura 9 muestra la construcción de un código Hamming para el carácter "b".

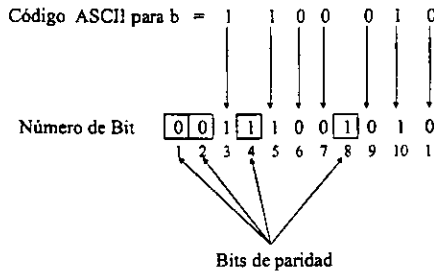


Figura 9. Ejemplo del código Hamming.

El carácter *ASCII* "b" se representa por el número binario 1100010. El código de Hamming para "b" es 00111001010. Considérese que pasaría si el bit de la izquierda se cambiara durante la transmisión. El código recibido sería 10111001010. El receptor comprobaría los 4 bits de paridad con los resultados siguientes:

- Bit de paridad 1 incorrecto (los bits 1,3,5,7,9 y 11 contienen 3 unos).
- Bit de paridad 2 correcto (los bits 2,3,6,7,10 y 11 contienen 2 unos).
- Bit de paridad 4 correcto (los bits 4,5,6 y 7 contienen 2 unos).
- Bit de paridad 8 correcto (los bits 8,9,10 y 11 contienen 2 unos).

El número total de unos en los bits 1,3,5,7,9 y 11 debería ser par, ya que se está usando paridad par. El bit incorrecto debe ser uno de los bits comprobados por el bit de paridad 1, es decir, uno de los bits 1,3,5,7,9, u 11. Como el bit de paridad 2 es correcto, sabemos que los bits 2,3,6,7,10 y 11 son correctos, de

forma que el error no estaba en los bits 3,7 u 11. Esto deja los bits 1,5 y 9. El bit de paridad 4 es correcto, lo cual significa que los bits 4,5,6 y 7 no contienen errores. Esto reduce la elección a 1 ó 9. El bit de paridad 8 también es correcto y por tanto, el bit 9 es correcto. Por consiguiente el bit incorrecto debe ser el 1. Dado que se recibió como un 1, debería haberse transmitido como un 0. En esta forma se corrigen los errores.

Los códigos correctores de error se utilizan algunas veces para la transmisión de datos, por ejemplo, cuando el canal es simple, de tal forma que no pueden solicitarse retransmisiones, pero en general, y para tener una mayor eficiencia, se prefiere tener solamente una detección de errores seguida por una retransmisión.

2

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA SONIMP

El sistema sonar *SONIMP* es utilizado para realizar registros de cavidades subterráneas en domos salinos que permiten obtener; la forma, las dimensiones, la orientación y el volumen de dichas cavidades. Se basa en el principio del sonar, esto es, emite pulsos ultrasónicos que son reflejados por las paredes de la cavidad y ya en forma de ecos son detectados al regresar al mismo punto donde fueron emitidos, estas señales detectadas son acondicionadas y procesadas para ser enviadas al equipo de superficie. Midiendo el tiempo que transcurre desde la emisión de un pulso hasta la detección de su respectivo eco y conociendo la velocidad de propagación del sonido en el medio que llena la cavidad (salmuera o crudo), el equipo puede determinar la distancia entre el punto de disparo del pulso y la pared de la cavidad que produjo el eco.

Realizando lecturas en forma horizontal y a diferentes profundidades se obtiene la forma completa de la cavidad, gracias a programas de cómputo y

algoritmos de cálculo de volumen, y si a esto se añade que se puede variar el ángulo de las lecturas (cuando no se tiene instalada la tubería de explotación) se puede registrar fácilmente el techo y fondo de la cavidad.

El sistema *SONIMP* está integrado por el equipo de superficie y el equipo de fondo, denotados así por el lugar en el que desempeñan su función. Estos se ilustran en la figura 10.

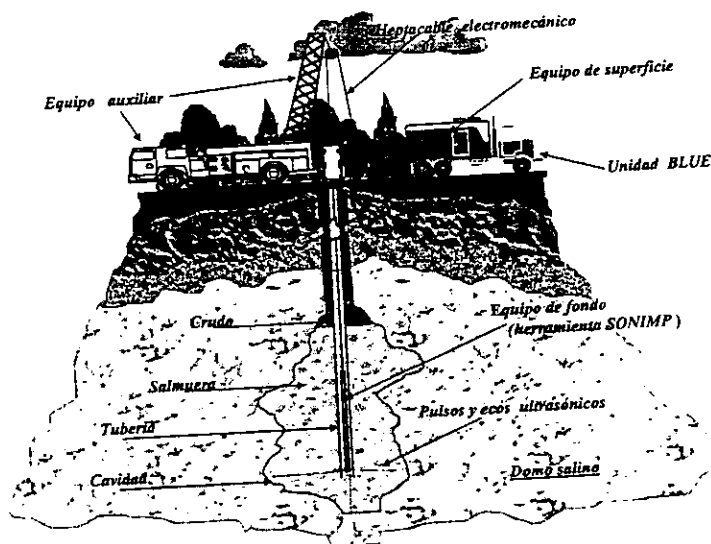


Figura 10. Sistema SONIMP en operación.

El control de operación de la herramienta se realiza con un sistema de cómputo tipo industrial, ubicado en el equipo de superficie que contiene un conjunto de programas de adquisición, cálculo y proceso de datos, así como de graficación en tiempo real, a fin de llevar a cabo el registro en un ambiente amigable y eficiente.

El equipo de superficie y el equipo de fondo se comunican entre sí por medio de un heptacable electromecánico (cable de 7 conductores) que además cumple

con la función mecánica de sostener al equipo de fondo durante el tiempo que permanece dentro de la cavidad.

Para que el heptacable cumpla con la función eléctrica de permitir la comunicación entre ambos equipos, se utiliza un protocolo de ciclos periódicos de transmisión - recepción, el cual le brinda al sistema la característica de trabajar con transmisión semiduplex.

En términos generales el sistema sonar *SONIMP* está integrado de la siguiente forma:

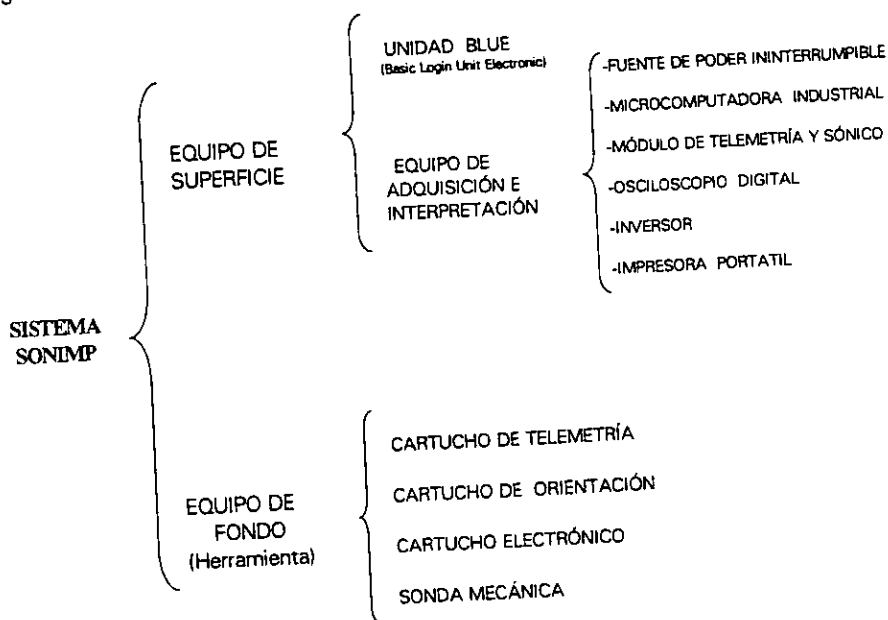


Figura 11. Partes del sistema SONIMP.

En las siguientes secciones se presenta una breve descripción de cada una de las partes que componen este sistema de registros sonar.

2.1 Equipo de superficie

2.1.1 Unidad BLUE

(BASIC LOGIN UNIT ELECTRONIC; Unidad Electrónica Básica de Registros).

Esta unidad es un camión destinado a alojar el equipo de adquisición e interpretación de datos, así como un malacate donde se enrolla el haptacable.

Esta unidad sirve también como medio de transporte del sistema sonar SONIMP cuando se realizan los registros.

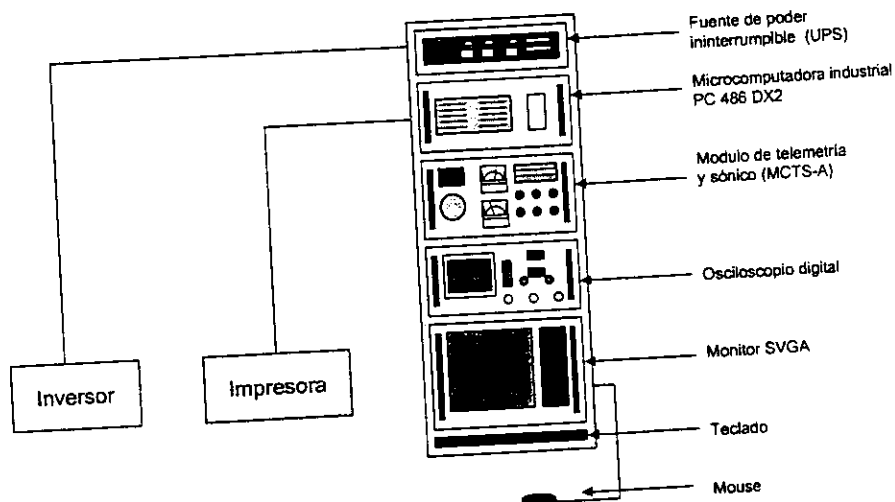


Figura 12. Equipo de superficie del sistema SONIMP.

2.1.2 Equipo de adquisición, procesamiento e interpretación de datos

Este equipo está instalado en la unidad de registros móvil *BLUE*, y su función consiste en recibir, mandar, procesar e interpretar la información que le envía el equipo de fondo, así como de producir los resultados finales de la interpretación. Todo ello gracias al desarrollo de un conjunto de programas y algoritmos de cómputo en lenguaje de alto nivel y ambiente gráfico para facilitar su operación.

El equipo de interpretación sirve para procesar la información y producir los resultados finales mientras que el equipo de adquisición se encarga de realizar la comunicación con el equipo de fondo.

Este equipo es alimentado con 120 Vca a 60 Hz con un consumo máximo de 2 KVA, y está compuesto por:

a) Fuente de poder ininterrumpible UPS

(UNIT POWER SUPPLY; Unidad suministradora de energía).

Esta unidad es utilizada para mantener en operación el sistema *SONIMP* en el caso de eventuales interrupciones de la energía eléctrica, así como para garantizar que el voltaje y la frecuencia estén dentro de los requerimientos del equipo. Cuando se interrumpe la energía eléctrica la *UPS* suministra energía al sistema de tal forma que se puede realizar el respaldo de la información.

b) Microcomputadora tipo industrial

Es una PC 486 DX2 y controla el modo de operación de la herramienta *SONIMP* a través del programa *SONIMP_2*, de tal forma que cuando recibe información de ésta, la almacena en disco duro y puede desplegarla en el monitor o la impresora.

Algunas de sus tareas principales son; el control de los sistemas mecánicos (elevación y rotación), cambio de ganancia y potencia, activación de transductores, frecuencia de operación, etc.

El programa *SONIMP_2* realiza el proceso de interpretación mediante el cual se puede obtener el volumen de la cavidad, así como una serie de gráficas que muestran diferentes cortes tanto horizontales como verticales a diferentes profundidades y orientaciones, además de varias gráficas tridimensionales que ilustran de mejor manera el estado físico de la cavidad. En la **figura 13** se muestra una gráfica tridimensional obtenida con la ayuda del programa Tecplot ya que las resultantes del programa *SONIMP_2* tienen menor resolución.

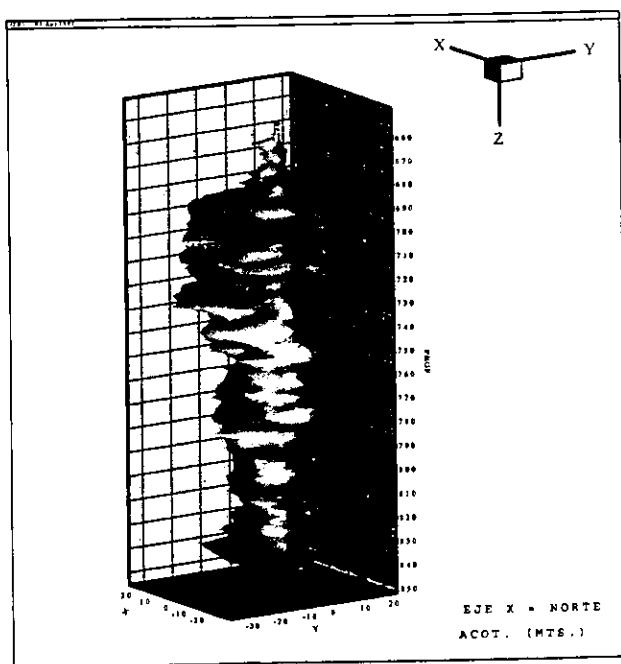


Figura 13. Gráfica tridimensional de una cavidad.

c) Módulo de telemetría y sónico (MCTS-A)

(Módulo de Comunicación Telemétrico y Sónico versión A)

Este módulo sirve como interfase entre el heptacable de registro y la microcomputadora. Recibe en un tiempo señales de la herramienta de fondo, las acondiciona, las procesa y envía al CPU (*Unidad Central de Procesamiento*) en donde son almacenados, interpretadas y desplegadas en diferentes formatos de acuerdo a los parámetros de interés. El módulo también recibe información del CPU referente a los modos y comandos de operación de la herramienta. Las señales que vienen de fondo y que recibe este módulo incluyen la señal sónica generada por el transductor ultrasónico.

d) Osciloscopio digital

Es un osciloscopio de dos canales que sirve para monitorear las señales que se reciben de fondo. En el módulo de telemetría se tienen salidas de las señales que se cree pertinente monitorear y por medio de cables se hacen llegar a las entradas del osciloscopio.

e) Inversor

La alimentación, tanto para el equipo de superficie como para el equipo de fondo, la proporciona la unidad *BLUE*, es por ello que se requiere de un inversor (Convertidor de CD a CA).

Este inversor proporciona una señal de corriente alterna de 127 voltios para el equipo de superficie.

En el módulo de telemetría se dobla dicho voltaje para alimentar al equipo de fondo.

Cuando la unidad *BLUE* no está en condiciones de proporcionar la potencia necesaria, se tiene la posibilidad de conectar el equipo a una línea de 127 voltios. Obviamente, en este caso no se utiliza el inversor.

f) Impresora portátil

Sirve para imprimir los archivos y documentos que resulten necesarios en el momento que se realiza el registro de la cavidad.

2.2 Equipo de fondo

La herramienta *SONIMP* que observamos en la **figura 14** constituye el equipo de fondo del sistema y está alimentada por un potencial de 250 Vrms, 300 mA a 60 Hz.

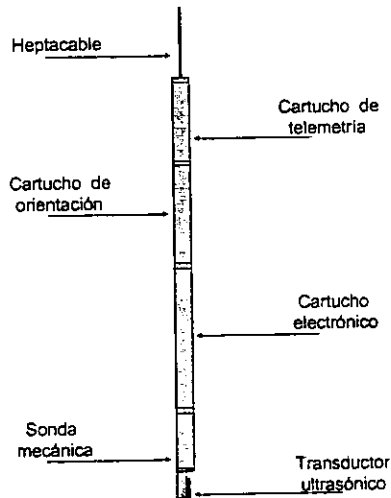


Figura 14. Equipo de fondo del sistema SONIMP.

La alimentación de 250 Vrms llega a todos los cartuchos que componen el equipo de fondo y una vez dentro de cada uno de estos se generan los voltajes de CD necesarios para alimentar a los circuitos electrónicos, tales como ± 5 , ± 15 , ± 24 50 y 150 voltios.

2.2.1 Cartucho de telemetría

Se trata de un cartucho de telemetría *TCC-A (TELEMETRY COMMUNICATIONS CARTRIDGE; Cartucho de comunicaciones de telemetría, versión A)* modificado para operar con la herramienta *SONIMP*. La modificación es relativamente sencilla y solo requiere el intercambio de algunas de sus conexiones en una de sus tarjetas. El efecto de la modificación es reducir la frecuencia de sincronización de la telemetría de 15 a 7.5 Hz.

Actualmente aún se encuentra en funcionamiento este cartucho fabricado por la compañía *Schlumberger* pero se pretende remplazarlo por el diseñado en esta tesis.

2.2.1.1 Definición de telemetría

La telemetría es la técnica de medición a distancia por la cual y mediante elementos colocados estratégicamente, se consigue capturar valores presentes en un punto sin necesidad de interactuar con el mismo (*referencia 1*).

Un caso muy común en el que se aplica la telemetría son los satélites en donde, obviamente, es imposible la medición sobre ellos en forma directa una vez en el espacio.

Dentro de las mediciones que se realizan en los satélites se incluyen las que permiten a los dispositivos terrestres conocer, por así decirlo, su estado de salud.

Para realizar telemetría en un satélite se agregan al mismo sensores que capturan los valores y se los entregan a la computadora de a bordo, la que los convierte en números, los que son enviados a tierra en forma de tramas de telemetría.

En el caso del sistema *SONIMP* sucede algo parecido que en los satélites, ya que una vez que el equipo de fondo se encuentra operando dentro las cavidades, es imposible realizar cualquier tipo de mediciones en forma directa.

2.2.1.2 Sistemas telemétricos

Existe una gran variedad de sistemas en los que se aplica la telemetría, por ejemplo: subestaciones eléctricas, tuberías, campos petroleros, torres de comunicación, etc.

Es importante mencionar que para realizar un equipo de telemetría se puede usar cualquier medio transmisor como el cable o el aire y por lo tanto es común encontrarse con sistemas telemétricos alámbricos o inalámbricos.

A continuación se exponen dos sistemas en los que se aplica la telemetría.

a) Telemedicina por radiofrecuencia

Este sistema consiste en el monitoreo de los signos vitales de un número determinado de pacientes.

Lo extraordinario de este sistema es que los pacientes no se encuentran dentro del hospital, sino que pueden estar en su casa, en una ambulancia, en un avión y hasta en embarcaciones.

Esta versatilidad es permitida gracias a que se utiliza una telemetría sin cables mediante la radiación de las señales necesarias para llevar a cabo dicho monitoreo.

Para tal efecto se provee a los clientes de dispositivos portátiles en los cuales se procesan y adquieren los datos, además del equipo médico necesario y la unidad de transmisión - recepción. En el hospital se cuenta también con el equipo de transmisión - recepción y se monitorean los signos de los pacientes mediante el software instalado dentro del ambiente Windows.

Un beneficio importante que se obtiene al trabajar con este sistema es el número de camas disponibles para los pacientes, con este sistema ya no hay preocupación de tener todas las camas ocupadas en un hospital ya que los pacientes se encuentran en su mismo hogar (*Referencia 2*).

Entre las características de este sistema sobresalen las siguientes:

Velocidad de transmisión de 19.2 Kbps.
Alcance de 30 Km.
Banda de transmisión UHF.
Transmisión digital de datos con detección de error.
Filtrado por Software.

b) Telemetría de Tanques -Car

Este sistema consiste en dotar a tanques petroleros con elementos de medición que permiten la toma y disponibilidad de información de los diferentes productos almacenados dentro de ellos.

La información es referente al volumen, el nivel, la masa, la temperatura, la densidad y es llevada automáticamente hasta el centro de operación de la refinería (*Referencia 3*).

2.2.2 Cartucho de orientación

La herramienta *SONIMP* necesita un punto de referencia sobre el plano horizontal a partir del cual se realicen las lecturas con desplazamientos angulares constantes sobre el plano transversal de la cavidad.

En la primera versión de la herramienta; ésta referencia la proporcionaba una brújula magnética presentando como desventaja que en presencia de materiales ferromagnéticos, las líneas de campo magnético se desvían y la brújula pierde su orientación.

En las cavidades de Tuzandepetl la circulación de petróleo se realiza a través de tuberías metálicas, así que cuando se utilizaba esta versión de la herramienta resultaba necesario remover dicha tubería. Por esta razón fue necesario diseñar otro sistema de orientación no magnético que permitiera la operación de la herramienta en estas condiciones.

En la segunda versión la referencia es proporcionada por un giroscopio mecánico que es un dispositivo que mantiene la referencia de su eje en el espacio sin que le afecte la rotación de la tierra.

Este dispositivo gira lo suficientemente rápido para que mantenido sobre una suspensión doble con el menor roce posible, conserve la orientación inicial que tiene su eje, aunque cambien las posiciones de su soporte.

La forma en que opera dentro de la herramienta *SONIMP* consiste en posicionarlo hacia el norte antes de que ésta entre en la cavidad. El mecanismo del giroscopio mantiene la misma referencia durante todo el registro, aun con los movimientos y giros de la herramienta.

La inclusión de este giroscopio permite al sistema realizar registros aún en presencia de tuberías.

2.2.3 Cartucho electrónico

Es la parte de la herramienta *SONIMP* que contiene todos los circuitos electrónicos necesarios para la generación, transmisión y recepción de las señales ultrasónicas, así como los circuitos que llevan a cabo el control de los motores usados para mover el transductor ultrasónico. Cuenta también con los circuitos de interfaz necesarios para poder efectuar la comunicación con el cartucho de telemetría.

2.2.4 Sonda mecánica

Es la parte que contiene los transductores, así como los motores para moverlos y orientarlos. Esta constituida por una sección fija y una sección giratoria las cuales están llenas de aceite de silicón y operan en equilibrio de presión con el medio exterior gracias al empleo de un pistón compensador de presión.

El elemento principal de la sonda es el transductor ultrasónico que se localiza en el extremo inferior y que tiene la capacidad de efectuar un movimiento de

rotación alrededor del eje vertical, lo que permite cambiar el azimuth del transductor y así dirigir el haz ultrasónico en cualquier dirección de 0 a 359 grados. Además puede efectuar un movimiento de elevación de 0 a 90 grados, lo cual permite variar la inclinación del haz ultrasónico.

Este transductor es en verdad un transductor doble pues contiene dos elementos piezoeléctricos colocados a 90 grados el uno del otro. Estos dos elementos piezoeléctricos se denominan transductor horizontal y transductor vertical, de acuerdo a la dirección en la cual emiten estando el transductor totalmente cerrado. El mismo transductor debe emitir la señal ultrasónica y recibir la señal reflejada por la pared de la cavidad. Cabe hacer notar que a pesar de que el movimiento de elevación es de 90 grados, es posible cubrir 180 grados en sentido vertical, gracias a que se cuenta con dos elementos piezoeléctricos defasados 90 grados.

Además del transductor empleado para efectuar la medición de la distancia, la sonda tiene también otro transductor que forma parte de un velocímetro acústico. Este velocímetro sirve para medir la velocidad de propagación del sonido en el medio que llena las cavidades, dato necesario para el cálculo de la distancia a partir del tiempo de tránsito.

2.3 Conexión del heptacable

Si recordamos en la sección 1.2, se mencionó que era más rentable radiar microondas que usar un cable para llevar a cabo una comunicación a larga distancia. Desafortunadamente, no siempre se puede utilizar este medio de transmisión ya que hay ocasiones en que las condiciones no son favorables para una transmisión vía aire, como en el caso del sistema SONIMP.

En este sistema sonar se recurrió al uso del sistema CTS (CABLE TELEMETRY SYSTEM: Sistema de Telemetría por Cable), el cual se basa en el uso de un cable de 7 conductores conocido como heptacable.

Este cable transmite las señales que permiten la comunicación entre las dos partes del sistema *SONIMP* y además suministra la energía que el equipo de fondo requiere. En la **figura 15** se muestra lo anterior.

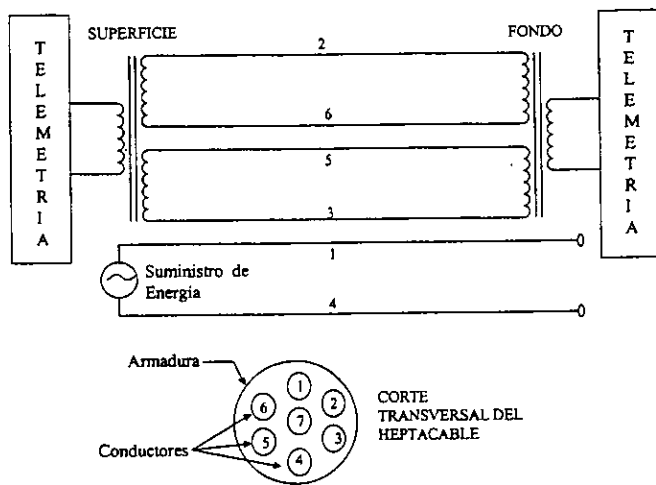


Figura 15. Conexión del heptacable.

Como podemos observar, la señal telemétrica es transmitida a través de dos pares de conductores con polaridades dispuestas de tal forma que se minimicen las pérdidas en la señal.

Esta configuración ayuda a cancelar los campos magnéticos generados por la corriente que circula por los conductores del heptacable y a evitar, en parte, las atenuaciones en la señal telemétrica.

Como se mencionó anteriormente, el heptacable tiene una secundaria función y es el envío de la energía a la herramienta ubicada en el fondo de la cavidad. Dicha energía es aplicada en los conductores 1 y 4 como se muestra en la **figura 15**.

La velocidad nominal de propagación de este Sistema de Telemetría por Cable es de $120 \text{ m}/\mu\text{s}$ y su impedancia Z_0 es de 40Ω .

2.4 Protocolo y tramas de comunicación

La forma en que se comunican las dos partes del sistema *SONIMP* (fondo y superficie) es mediante un ciclo periódico de tiempos el cual se divide en tres partes:

1. La transmisión de los datos de la herramienta hacia la superficie (*UDATA*) con una duración aproximada de 1 ms.
2. La parte durante la cual se efectúa la transmisión y recepción de la señal ultrasónica. Esta parte se conoce con el nombre de "ventana sónica" y tiene una duración de aproximadamente 70 ms.
3. La recepción y respuesta de la herramienta a las ordenes enviadas desde la superficie (*DDATA*).

2.4.1 Envío de datos hacia la superficie

El ciclo comienza con un pulso denominado *GO*, el cual tiene una duración de $20\mu s$, se genera en el cartucho de telemetría y se envía al cartucho electrónico. Este pulso tiene la función de indicarle al cartucho electrónico que se prepare para enviar a la superficie los datos obtenidos en el ciclo anterior. Aproximadamente $320\mu s$ después, el cartucho de telemetría genera la señal de reloj *UCLK* (*UP CLOCK: Reloj de subida*), que sirve para sacar del cartucho electrónico dichos datos y enviarlos a la superficie.

Estos datos contienen la posición en que se encuentra el transductor ultrasónico, tanto en azimuth como en elevación, el estado de las fuentes de 5, 12 y -12 voltios y en general el estado en que se encuentra la herramienta.

Toda la información se encuentra en código binario y es modulada en bifase para enviarse en forma serial a superficie mediante la trama que se describe a continuación.

2.4.1.1 Trama de subida

a) Ceros iniciales (8 bits)

Siempre al inicio de una transmisión en modulación bifase se deben enviar ceros para que el receptor sepa que la transmisión va a dar inicio. Estos 8 ceros permiten sincronizar los relojes del receptor y transmisor bit por bit. Es decir el receptor de superficie sabe el momento exacto en que inicia cada bit enviado por el transmisor del cartucho telemétrico.

b) Estructura del Patrón de Sincronía (16 bits)

Es un número fijo de 16 bits, el cual sirve para sincronizar el receptor con el transmisor por palabras. Es decir al reconocer el receptor este número preestablecido, empieza a leer grupos de 8 bits interpretándolos como palabras individuales.

Este *FSP (FRAME SYNC PATTERN)* 0000011001101011 se encuentra grabado en el módulo de telemetría de superficie y en cuanto coincide con el enviado de fondo, se inicia la lectura de los datos procedentes del cartucho de telemetría en grupos de 8 bits.

c) Palabra de estado # 1 (16 bits)

Una vez sincronizado el sistema, se envía una palabra que indica a superficie el estado en que se encuentra la herramienta. Esta palabra consta de 16 bits siendo el 15 y el 14 fijados a uno lógico. Tanto estos bits como otros incluidos en las palabras de estado que no se utilizan, deben ser inhabilitados fijándolos como uno o como cero, ya que en su uso normal del *TCC-A* tenían una aplicación y al

diseñar el módulo de telemetría para superficie se incluyeron los espacios de estos bits para evitar modificaciones al *TCC-A*. Ahora como se seguirá trabajando con el módulo de telemetría de superficie, se deben incluir todas estas palabras para conservar la compatibilidad.

El bit 13 no tiene uso y esta fijo a 1 lógico.

Los bits 11 y 12 son fijados a cero.

El bit 10 permanece en estado bajo (0 lógico).

El bit 9 indica a superficie con 1 lógico cuando el *CRC* recibido en el ciclo anterior no coincidió con el *CRC* calculado y en consecuencia, la información de dicho ciclo fue desechada.

El bit 8 indica al módulo telemétrico de superficie conmutando a cero lógico, cuando el *FSP* recibido en el ciclo anterior no coincidió con el preestablecido.

Los siguientes 8 bits (7 a 0) no tienen ninguna aplicación y por eso son fijados a 0 lógico.

d) Palabra de estado # 2 (16 bits)

Los primeros 5 bits dan una representación binaria del voltaje pico de la potencia de CA llegada a la cabeza superior del cartucho de telemetría y los restantes son fijados a cero al no tener otro uso.

e) Datos del cartucho electrónico (32 bits)

Las siguientes palabras transmitidas son la parte medular de la trama y del sistema *SONIMP* ya que se trata de la información que el cartucho electrónico envía al módulo de telemetría.

Como se puede observar en la **figura 16**, la información que se envía en estos 32 bits es la siguiente:

Los bits 0, 1 y 2 indican el estado de las fuentes de 5, 12 y -12 voltios, el bit 3 indica si el transductor esta cerrado, el bit 4 indica el estado del velocímetro, del

bit 5 al 15 se indica la velocidad en el fluido, entre el bit 16 y el 31 se indica la posición del transductor, teniendo entre el 16 y el 24 el azimuth y entre el 25 y el 31 la elevación.

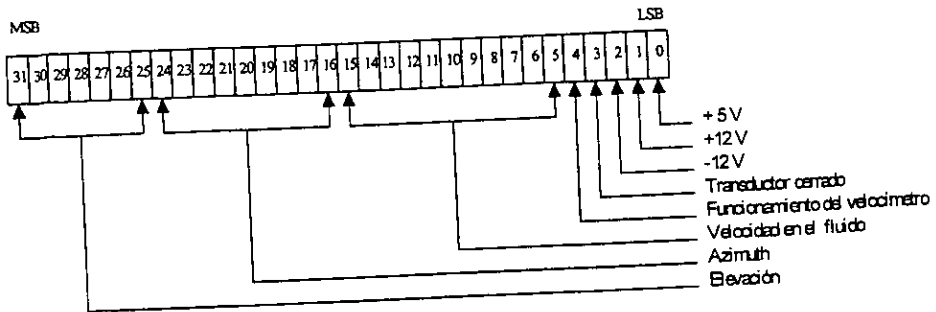


Figura 16. Palabras del cartucho electrónico hacia superficie.

Cabe señalar que de la trama de subida, estos son los únicos 32 bits que vienen del cartucho electrónico, y todos los demás son generados en el cartucho de telemetría.

f) Código de Redundancia Cíclica (CRC con 16 bits)

Una vez que se han enviado los datos proporcionados por el cartucho electrónico, se envía un código detector de errores *CRC* calculado mediante el polinomio $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$ con las 2 palabras de estado y con los datos del cartucho electrónico transmitidos anteriormente.

En superficie es leído este *CRC* y comparado con el calculado. En caso de que estos dos códigos difieran, quiere decir que algún dato enviado llegó mal, entonces se desecha la información recibida en el presente ciclo.

Como se vio en el capítulo 1, la probabilidad de detectar cualquier error con este método es del 99%.

g) Ceros finales (8 bits)

Al final de la trama se envían 8 ceros que son con los que se cierra la transmisión hacia superficie. Estos ceros sirven como bits de empuje para los datos precedentes en la circuitería de recepción del módulo de superficie.

2.4.2 Ventana sónica

Después del envío de los datos a superficie, se produce en el cartucho de telemetría la señal *WFMSYNC* (*WAVEFORM SYNC; Forma de onda síncrona*) que es enviada al cartucho electrónico, donde provoca la generación de las señales *WFMSYNC FEEDBACK* (*Forma de onda síncrona realimentada*) y *SONDE TRIGGER* (*Disparo de la sonda*).

La primera es la que determina la duración de la ventana sónica, y la segunda sirve básicamente para efectuar el disparo del transductor ultrasónico.

Al ocurrir el disparo del transductor, aproximadamente $400\mu s$ después del inicio de la ventana sónica, se genera simultáneamente una señal de referencia T_0 que se envía a la superficie. El objeto de esta señal es permitir que el módulo sónico en la superficie inicie el conteo de tiempo para que en cuanto llegue el eco reflejado se obtenga la cuenta del tiempo de tránsito.

Poco tiempo después de finalizar la ventana sónica, se efectúa la medición de la velocidad de propagación del sonido en el fluido por medio del velocímetro acústico.

Tanto T_0 como el eco reflejado por la cavidad son enviados a superficie por medio del heptacable mientras transcurre la ventana analógica. Estos dos pulsos conforman la señal analógica o señal sónica.

2.4.3 Recepción de las ordenes de superficie

Poco tiempo después del fin de la ventana sónica, el cartucho de telemetría recibe de superficie mediante la señal bifase; las ordenes que habrá de enviar al cartucho electrónico.

Después de que el cartucho telemétrico procesa la información recibida y comprueba que no hubo errores en su transmisión, envía al cartucho electrónico las señales *DDATA (DOWN DATA; Datos hacia abajo)* y *DCLK (DOWN CLOCK; Reloj hacia abajo)* las cuales llegan a los diferentes circuitos de este para que cumplan con la instrucción encomendada desde la microcomputadora del equipo de superficie.

La trama que contiene todas estas ordenes se explica en la siguiente sección.

2.4.3.1 Trama de bajada

a) Ceros iniciales (8 bits)

8 ceros son recibidos al inicio y tienen el mismo propósito que en la trama de subida, ellos sincronizan el reloj del demodulador bifásico con el ingreso del bit en circulación.

b) Estructura del Patrón Sincrono (8 bits)

El *FSP* es de 8 bits a diferencia de 16 bits en el enlace de subida. El patrón usado es una parte del patrón de 16 bits, solamente que ahora en orden inverso ya que el primer bit recibido es el menos significativo, de tal forma que el *FSP* de bajada es el siguiente; 11010110.

Igualmente que los ceros este *FSP* tiene el mismo fin que para la trama de subida, y que es el de sincronizar el receptor para que sepa en que momento va a iniciar cada palabra de 8 bits.

c) Datos hacia el cartucho electrónico (32 bits)

Los siguientes 32 bits comprenden las instrucciones para la herramienta. Estas instrucciones no son recibidas solamente en un grupo de 32 bits sino que en realidad se reciben en dos grupos diferentes. Estos dos grupos son multiplexados en tiempo de tal forma que en un ciclo de transmisión recepción llegan los bits correspondientes a la selección del transductor, ganancia del velocímetro, ganancia de fondo, filtro, azimuth, elevación, deshabilitación y en el segundo grupo la información corresponde al sintetizador de frecuencias, el número de pulsos y habilitación en el receptor tal como se observa en la figura 17.

La manera en que el cartucho electrónico reconoce donde debe ir la información recibida es mediante la dirección que va incluida al final de los grupos, tal como se muestra en la figura 17.

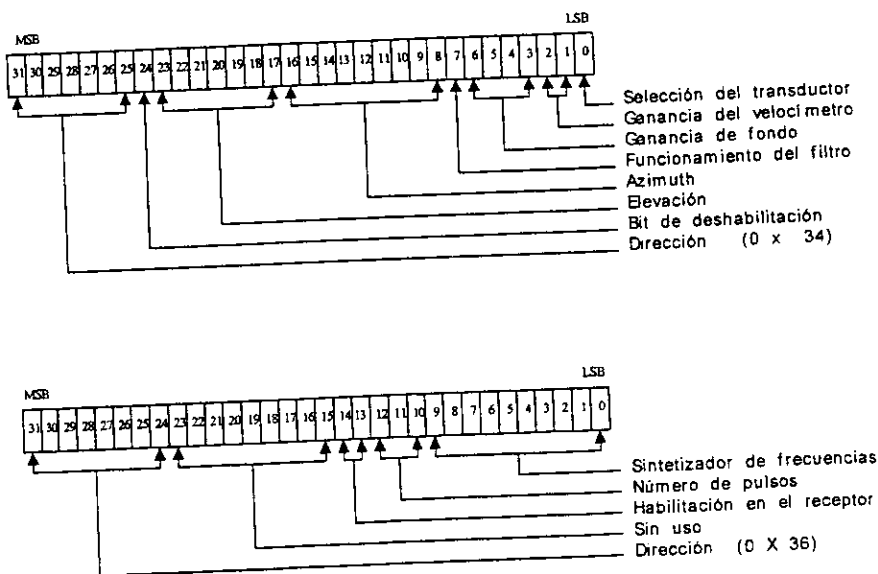


Figura 17. Palabras de superficie hacia el cartucho electrónico.

d) Código de Redundancia Cíclica (8 bits)

Una vez que se han recibido las instrucciones para la herramienta, se recibe un código detector de errores. A diferencia del enviado a superficie el cual se compone de 16 bits, este solamente consta de 8 y está calculado mediante el polinomio; $X^8 + 1$. Este CRC de menor número de bits es aceptable para esta aplicación.

e) Ceros finales (8 bits)

Una vez que se termina el CRC se finaliza la trama de bajada con 8 ceros que tienen la misma finalidad que los de la trama de subida, indicando al receptor que el ciclo de transmisión recepción ha finalizado.

2.4.4 Necesidad de compatibilidad

En las secciones anteriores se explicaron los lineamientos bajo los cuales trabaja el sistema SONIMP, bajo los cuales debe trabajar también el nuevo cartucho telemétrico para que dicho sistema lleve a cabo las tareas que hasta el momento ha realizado satisfactoriamente.

Una manera para quitar algunos bits que no se usan en las tramas de subida y bajada es cambiar tanto el equipo de telemetría de superficie como el cartucho de telemetría de fondo. Este cambio debe ser de los dos al mismo tiempo para poder implementar un entramado diferente que cumpla estrictamente con las necesidades del sistema SONIMP y no incluya partes innecesarias.

Por el momento se seguirá utilizando el mismo equipo de telemetría de superficie y por lo tanto se debe trabajar con el protocolo y entramado que se han ilustrado anteriormente, además se debe poner especial atención en los siguientes dos puntos.

- Dada la complejidad para realizar una transmisión en paralelo debido a la distancia (3000 m apx.), se trabaja con transmisión serie mediante una señal bifase.
- Debido a que en el cartucho electrónico se trabaja con registros de corrimiento, es necesario ordenar las series de bits de tal forma que cuando lleguen a dicho cartucho el bit menos significativo debe ser el primero, y cuando salgan de este, el bit menos significativo debe ser el último. Esta forma de transmitir bits se conserva a la salida y entrada del cartucho de telemetría, y de igual manera a la salida y entrada del sistema de telemetría ubicado en superficie. Por esto, siempre que circule un dato por el heptacable en forma ascendente; irá en primer lugar el bit más significativo y cuando vaya en forma descendente, irá en primer lugar el bit menos significativo.

El hecho de incluir un microcontrolador dentro del nuevo cartucho nos proporciona la flexibilidad de hacer cambios considerables con el hecho de reprogramar a este y por lo tanto nos brinda la posibilidad de que en un futuro se pueda hacer el cambio del entramado tanto en superficie como en fondo.

2.5 Equipos parecidos al sistema SONIMP

Existe un sistema denominado *ROV (Vehículo Operado Remotamente)* que es usado con fines similares al *SONIMP*. La variante es que dicho sistema además de realizar registros de cavidades, puede obtener muestras físicas de sus paredes para después examinarlas.

Algunos de los dispositivos extras que porta este vehículo son; dos cámaras a color, dos scanner sonar, una lámpara de 1000 Wats, un sensor táctil y un taladro, el cual es utilizado para obtener las muestras de la pared de la cavidad.

La inclusión de cámaras permite al *ROV* llevar a superficie imágenes del interior de la cavidad aunque no muy nítidas ya que la visibilidad en la salmuera saturada o aceite es realmente pobre.

El sensor táctil le permite determinar la proximidad con las paredes y un sistema balanceador permite al operador (a 3500 ft apx.) cambiar el eje del *ROV* entre posición vertical y horizontal.

Otro sistema que se denomina *ECHO LOG* y es fabricado por la compañía *Prakla Seismos*, también realiza tareas semejantes al sistema *SONIMP* al obtener como resultados finales de los registros de cavidades gráficas en dos y tres dimensiones tal como lo hace éste.

Una diferencia considerable es en cuanto a sus programas de presentación de resultados, ya que *ECHO LOG* nos da las opciones de entregar reportes en Alemán, Inglés o Francés.

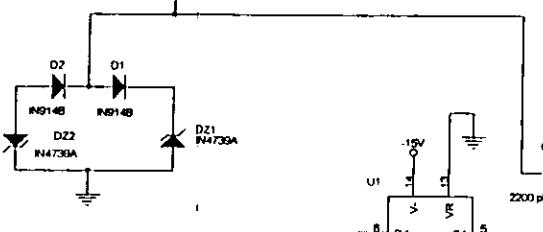
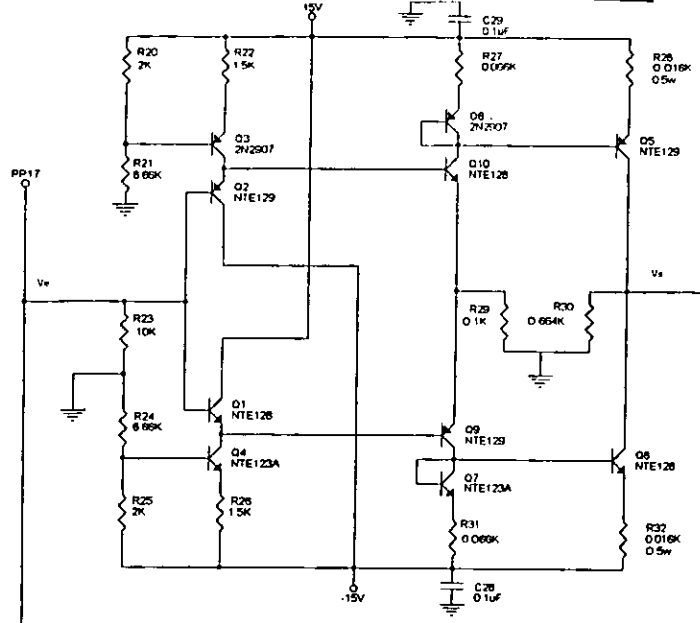
0	0	TRANSISTOR
1	0	INTERFACIA
2	0	TRANSISTOR ANALOGICA
3	0	TRANSISTOR DIGITAL

NOTA: A = región de P2 y P12, todo los resistencias son de 0.25 Watts

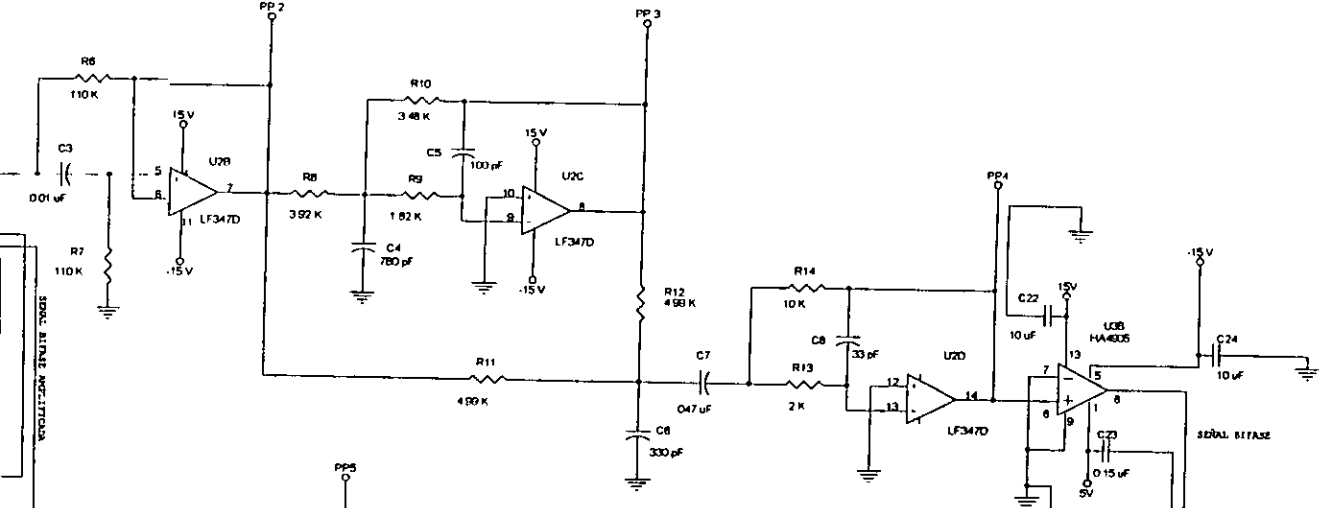
... CONEXIONES EXCEPTO AL CIRCUITO DE CONTROL

De las cabezas a los elementos = Tramos

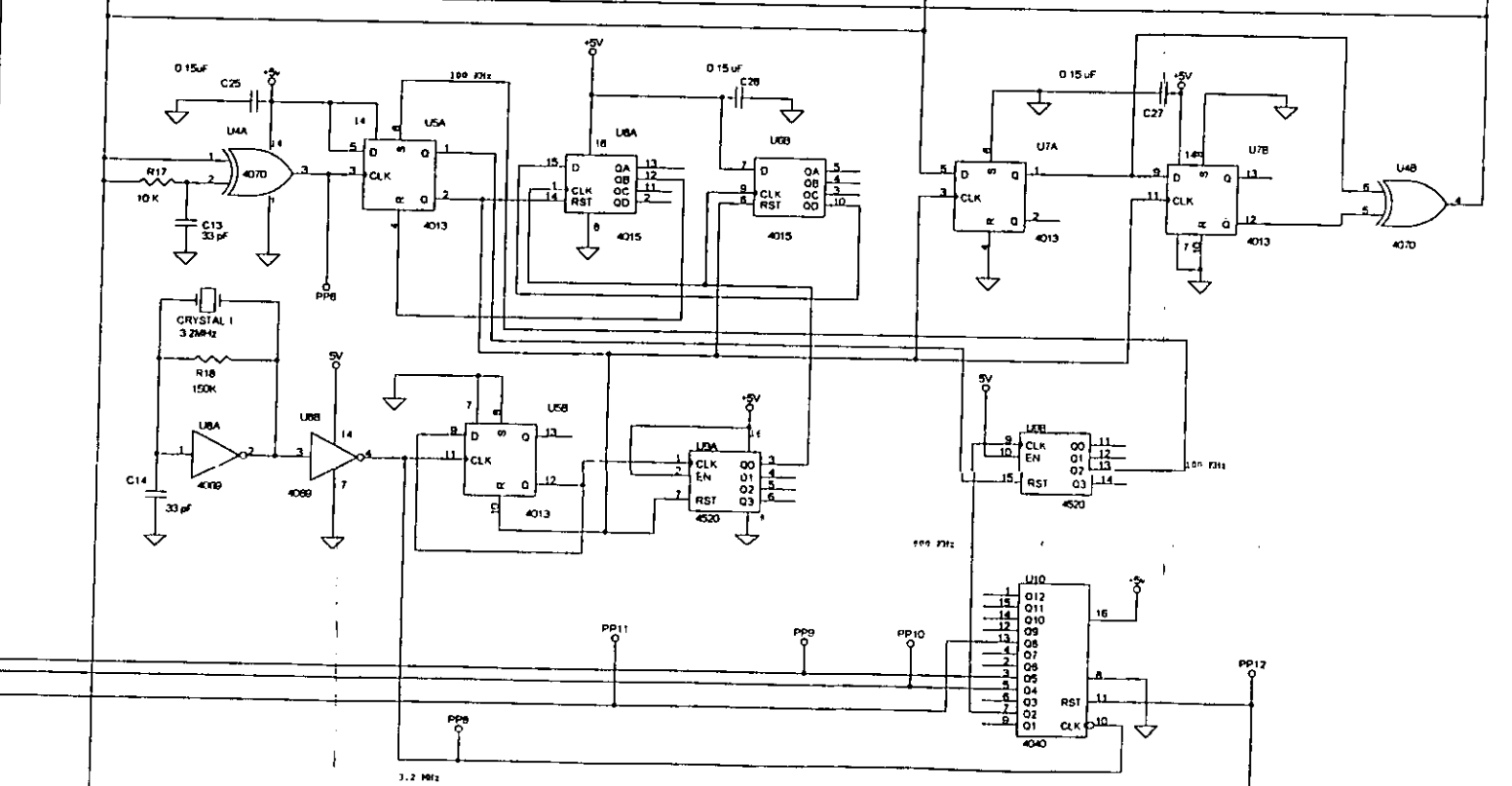
Elementos = Tramos a las Cabezitas



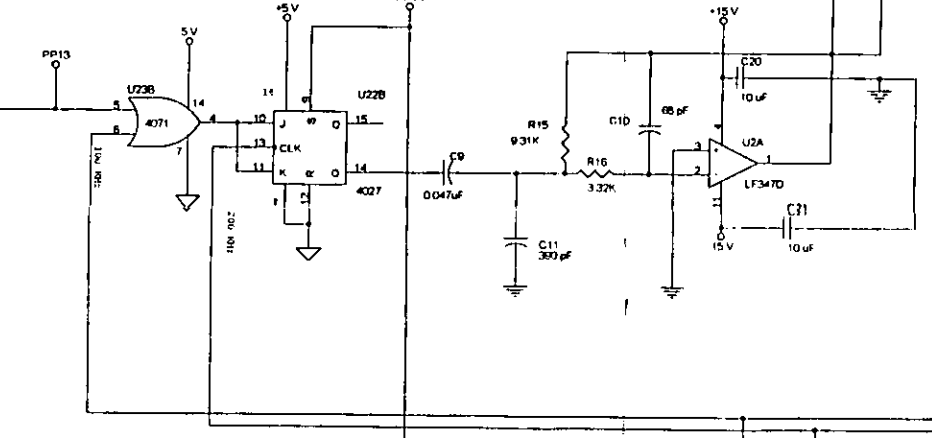
CIRCUITO RECEPTOR



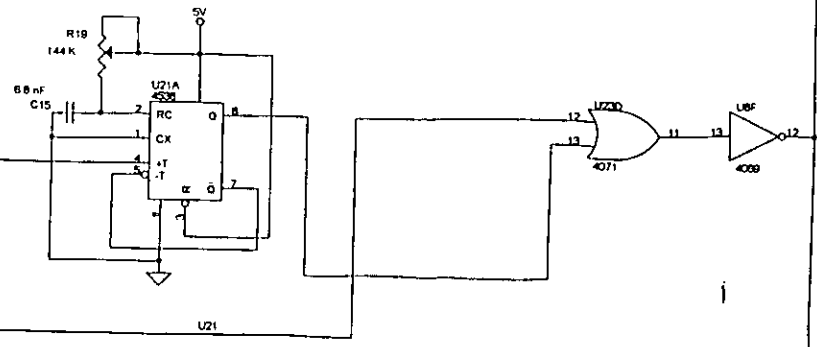
CIRCUITO DEMODULADOR



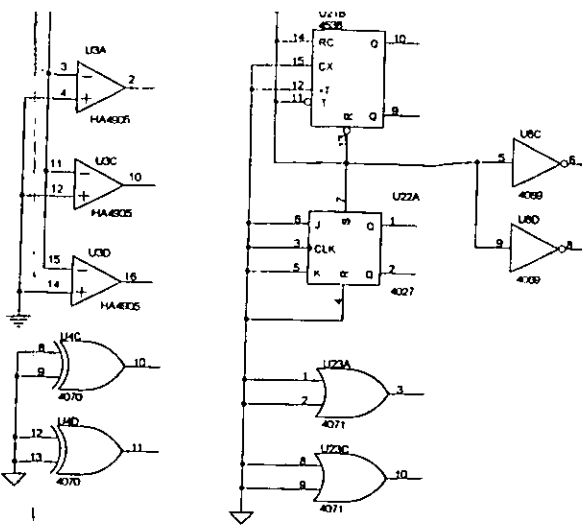
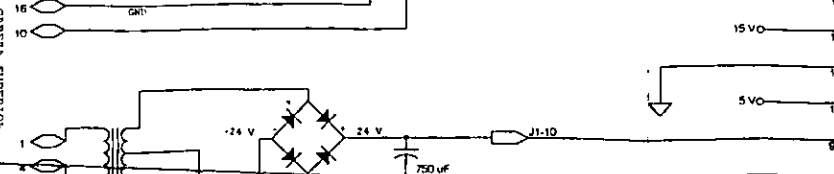
CIRCUITO MODULADOR



CIRCUITO DE SINCRONIZACION



J4
VA A J5 EN EL
CIRCUITO DE CONTROL



40-RELEAUS VEZING

3

DISEÑO Y DESARROLLO DEL CARTUCHO DE TELEMETRÍA

El cartucho de telemetría razón de la presente tesis tiene como partes principales; un receptor, un demodulador, un amplificador, un modulador y un circuito de control; incluyendo también un multiplexor y un circuito de acoplo como elementos auxiliares.

En la **figura 18** se presenta un diagrama a bloques de este cartucho en el cual observamos que la señal de superficie llega al circuito receptor, el cual elimina el ruido que se añade durante su transmisión por el heptacable y compensa las atenuaciones que se generan por la longitud de este.

El modulador y el demodulador son los encargados de hacer la conversión de la señal binaria a señal bifase y viceversa.

El amplificador es el circuito que prepara tanto la señal bifase como la señal analógica para ser enviadas por el heptacable hasta la superficie.

En el circuito de control se encuentra el chip más importante; microcontrolador D87C51FA-1, encargado de generar las señales de sincronización, inicio, fin, habilitación y control para todo el cartucho de telemetría.

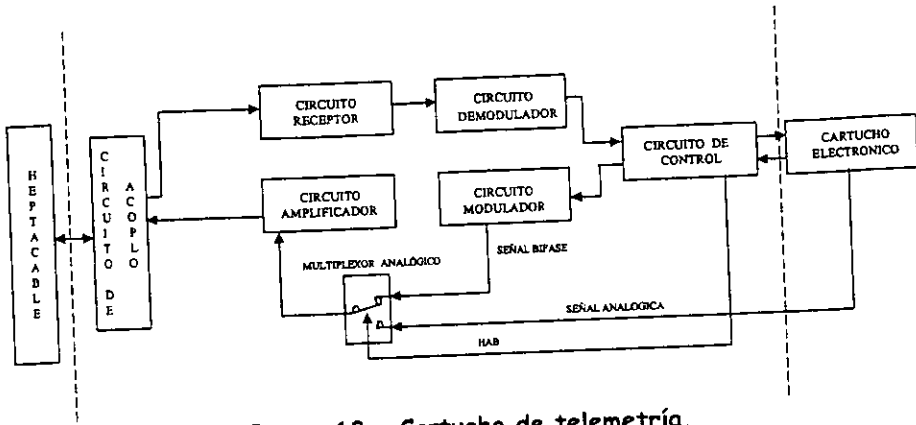


Figura 18. Cartucho de telemetría.

Tal como se muestra en el diagrama, la señal bifase procedente de superficie vía el heptacable, entra al circuito de acoplo y posteriormente llega al circuito receptor.

Después de que ha sido reconstruida esta señal por los filtros del receptor, se hace llegar al demodulador, el cual la convierte en señal binaria que a su vez entra al circuito de control.

En el circuito de control es procesada la información de tal forma que se envía al cartucho electrónico ya lista para que éste la interprete debidamente y ejecute las ordenes enviadas de superficie.

Además de estas ordenes, el circuito de control envía al cartucho electrónico otras señales de sincronización como son relojes y pulsos de inicio.

El cartucho electrónico proporciona dos señales; una digital que entra directamente al circuito de control, y otra analógica o sónica que pasa por el multiplexor para llegar al amplificador que habrá de acondicionarla para enviarla a superficie.

La señal digital es la respuesta binaria que el cartucho electrónico manda a la superficie, la cual es ordenada por el circuito de control y convertida a bifase por el modulador.

Una vez hecha la conversión por el modulador, dicha respuesta llega al multiplexor analógico, mismo que permite el acceso al circuito amplificador para que al igual que la señal analógica, sea enviada a superficie.

El multiplexaje entre la señal analógica y la señal digital modulada lo controla la señal *HAB*, generada por el circuito de control.

La salida del circuito amplificador está conectada al circuito de acoplo, por el cual se envían las señales a superficie mediante el heptacable.

3.1 El circuito de acoplo

El elemento principal de este circuito que observamos en el diagrama de la figura 19 es el transformador T_1 , que sirve para acoplar el heptacable con la electrónica interna del cartucho de telemetría.

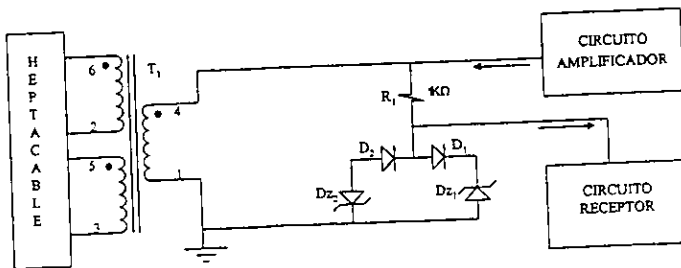


Figura 19. Circuito de acoplo.

Como podemos observar este transformador tiene dos devanados como primario y uno como secundario.

De los devanados 6-2 y 5-3 se obtienen los 4 conductores que se conectan al heptacable. Por su parte el devanado 4-1 es el que se conecta a la electrónica interna del cartucho.

Los tres devanados están hechos con alambre magneto calibre 30 y tienen las siguientes inductancias y número de vueltas.

Tabla 1. Características del transformador de acoplo

Devanado	Inductancia (mH)	Número de vueltas
6-2	10.05	76
5-3	10.05	76
4-1	2.5	40

El enrollamiento de estos devanados se hizo en una guía 3019F3D y está cubierto por dos ferritas 3019PA16003B7.

Como observamos en la **figura 19**, la señal de superficie es recibida directamente por el transformador y recortada por medio del arreglo que forman los diodos D_1 , D_2 , Dz_1 y Dz_2 .

Los diodos zener tienen un $V_z = 9.1$ voltios y sirven de protección a los circuitos integrados del receptor, ya que debido a la conexión este recibe tanto la señal que viene de superficie como la que sale del amplificador para ser transmitida.

3.2 La etapa multiplexora

El multiplexor de esta etapa se implementa por medio de la conexión de 2 switch de la unidad U1 (HI1 5051-5).

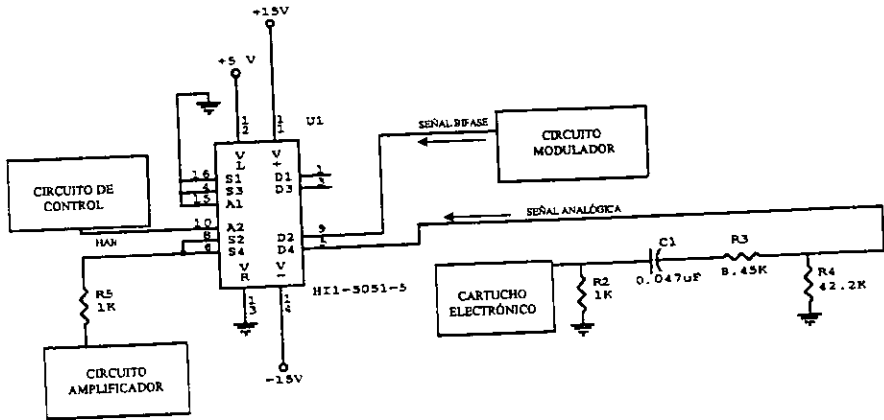


Figura 20. Etapa multiplexora.

Los pines 5 y 9 son las entradas y los pines 6 y 8 son las salidas como se observa en la figura 20. Las salidas se cortocircuitan y permiten el envío de la señal analógica y la señal bifase al amplificador de potencia. El control de este multiplexor está en el pin 10 que cierra solamente un switch a la vez y es habilitado por la señal *HAB*, la cual es uno lógico para la transmisión de la señal bifase y es cero lógico para la transmisión de la señal analógica procedente del cartucho electrónico. La señal *HAB* es generada por el microcontrolador del circuito de control.

Dentro del mismo diagrama ilustrado anteriormente se incluye un filtro pasa altas formado por R_2 , R_3 , R_4 y C_1 , con una frecuencia de corte de 150 Hz y una ganancia unitaria.

Este filtro sirve para eliminar las bajas frecuencias que se pudieran añadir a la señal analógica durante su recorrido del cartucho electrónico al cartucho de telemetría, por ejemplo alguna interferencia generada por la línea de alimentación.

3.3 El circuito receptor

Esta etapa está compuesta esencialmente por tres amplificadores operacionales (LF347D) y un comparador (HA4905), siendo su función principal eliminar las señales de ruido que se añaden a la señal bifase durante su transmisión por el heptacable, así como también, compensar las atenuaciones sufridas por la misma señal de información durante el recorrido de superficie a fondo.

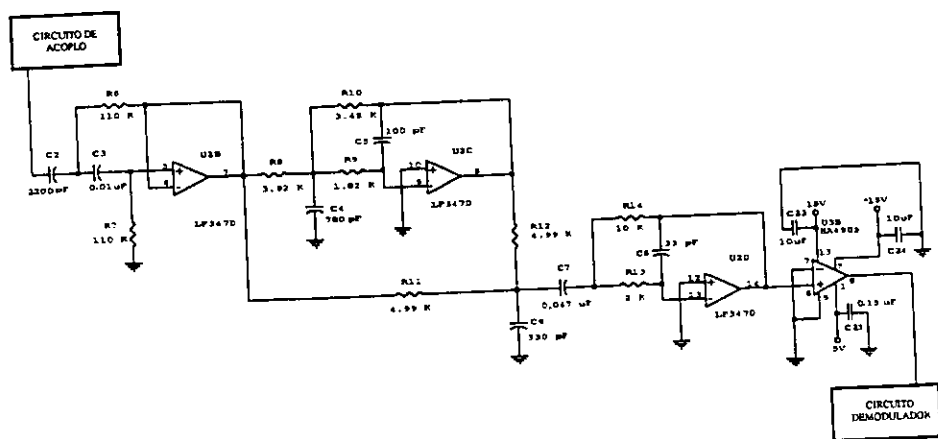


Figura 21. Circuito receptor.

Como observamos en la figura 21, el filtro pasa altas formado por U2B, C₂, C₃, R₆ y R₇ recibe la señal entregada por el circuito de acoplo. Este filtro es de segundo orden, no inversor, con una frecuencia de corte de 1 KHz, con ganancia unitaria y su función de transferencia es la siguiente:

$$\Delta V = - \frac{S^2 R_6 R_7 C_2 C_3}{S^2 R_6 R_7 C_2 C_3 + S R_6 (C_2 + C_3) + 1}$$

La salida de éste filtro sirve de entrada a un filtro pasa bajas de segundo orden formado por U2C, R₈, R₉, R₁₀, R₁₁, C₄ y C₅. Este filtro presenta doble realimentación directa por medio de R₁₀ y C₅ y una tercera realimentación por medio de R₁₁ que suma el retardo de 1 μs de su salida con su misma entrada.

La función de transferencia para este circuito, sin incluir la tercera realimentación, es la siguiente:

$$\Delta V = - \frac{R_{10}}{S^2 R_8 R_9 R_{10} C_4 C_5 + S C_5 (R_{10} (R_8 + R_9) + R_8 R_9) + R_8}$$

La penúltima parte de esta etapa le corresponde al filtro pasa bajas formado por U2D, C₇, C₈, R₁₃ y R₁₄. Igualmente que el anterior, este filtro es de segundo orden y con doble realimentación a través de C₈ y R₁₄. A continuación se presenta su función de transferencia:

$$\Delta V = - \frac{S R_{14} C_7}{S^2 R_{13} R_{14} C_7 C_8 + S C_8 (R_{13} + R_{12}) + 1}$$

Debido a que la señal bifase ya reconstruida es de C.A., se debe convertir a niveles lógicos por medio de un comparador con voltajes de umbral fijos a 0 y 5 voltios. Este trabajo lo realiza la unidad U3B la cual proporciona a su salida la señal bifase sin ruido y lista para ser leída por el demodulador.

Un detalle muy importante a considerar en la elaboración de filtros es la selección adecuada de los componentes a utilizar, y en este caso especialmente de los capacitores, ya que si no se hace una selección adecuada existe la posibilidad de obtener como resultado una mala calidad en dichos filtros.

Los factores principales a considerar en la selección de capacitores son la temperatura y frecuencia de operación.

Hoy en día se cuenta con una amplia variedad de capacitores que se pueden clasificar por el material dieléctrico y por el material conductor con el que están contruidos. De esta clasificación se desprenden los diferentes rangos de frecuencias a los que se recomienda trabajen cada uno de estos. Por ejemplo; para el capacitor de poliester, el rango recomendable de frecuencias de trabajo es de 5KHz a 1000MHz, los capacitores mylar trabajan apropiadamente entre 1 KHz y 1 MHz, los capacitores de mica y cerámicos trabajan de forma apropiada entre 100 KHz y 100MHz, otras opciones pueden ser los electrolíticos (para bajas frecuencias), los de tantalum, etc.

En cuanto a la temperatura de operación, en este caso, no hay mucho problema ya que la temperatura promedio dentro de la herramienta (60° C apx.) permite trabajar a los capacitores en forma adecuada.

Otro factor que se debe tomar en cuenta tanto para resistencias como para capacitores es la tolerancia de variación; ya que entre menor sea ésta mayor será la precisión con la que cuenta el sistema.

3.4 El circuito demodulador

El sistema demodulador está basado en el muestreo de la señal bifase cada 10 μ s. Comparando entre sí dos muestras obtenidas consecutivamente se interpreta la información enviada desde superficie.

Como se observa en la figura 22 la demodulación está hecha básicamente por 2 registros de corrimiento (MC14015), cuatro flip flops tipo D (MC14013), dos contadores ascendentes (MC14520) y 2 compuertas or-ex (MC14070).

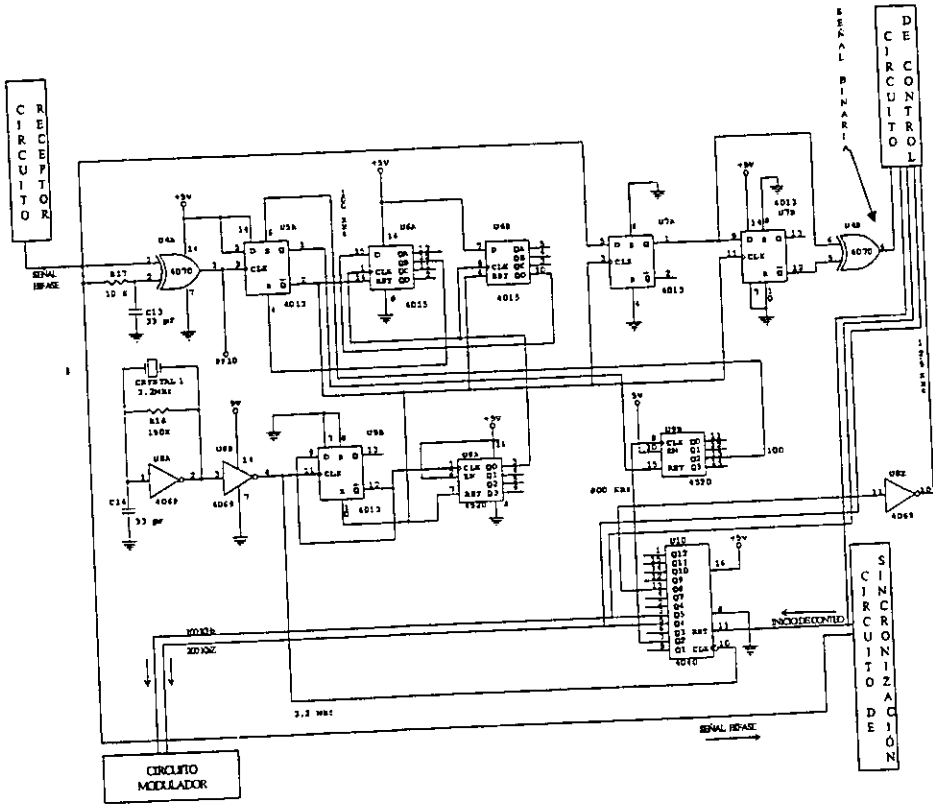


Figura 22. Circuito demodulador.

El par de registros de corrimiento U6A y U6B cuentan 6 pulsos de un reloj de 800KHz. El conteo de los pulsos empieza con el inicio de cada ciclo correspondiente a un bit y justamente al terminar el pulso #6 es cuando se obtiene la muestra de la señal bifase. Es decir, la señal es muestreada

aproximadamente $7.5 \mu s$ después del inicio de cada bit como se observa en el diagrama de tiempos de la figura 23.

La señal de reloj es generada por el cristal 1 de 3.2 MHz en conjunto con los inversores U8A y U8B, la resistencia R_{18} y el capacitor C_{14} . La frecuencia de este reloj es dividida en dos por el flip flop tipo "D" U5B y nuevamente dividida por el contador U9A, obteniendo así la señal de reloj con la que trabajan los registros de corrimiento U6A y U6B.

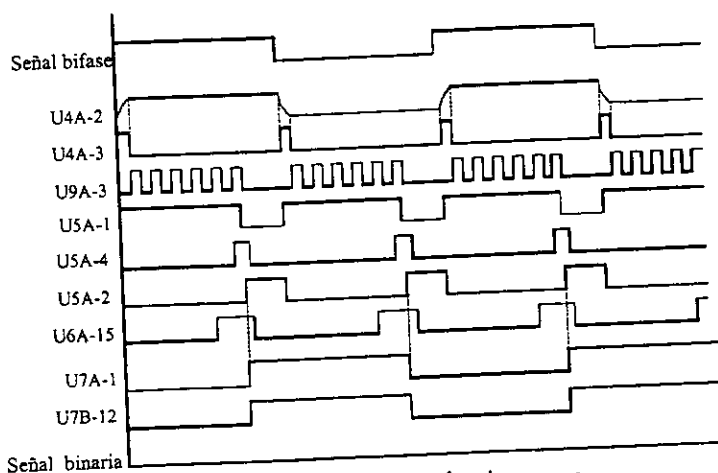


Figura 23. Demodulación de ceros.

Cuando los registros han contado seis pulsos de reloj, habilitan el reset del flip flop tipo "D" U5A, el cual por medio de Q' habilita el reset de los dos registros que cuentan los pulsos y los dos circuitos divisores de frecuencia (U5B y U9A). El sistema contador de pulsos permanece inhabilitado mientras la salida Q' de U5A permanece en uno lógico, pero la señal bifase impide que esto ocurra por mas de un periodo de recepción de un bit, al cambiar la entrada de reloj de U5A.

La señal bifase proporcionada por el filtro receptor, es sometida a un proceso de retraso al hacerla pasar por un circuito RC formado por R_{17} y C_{13} como se muestra en las figuras 23 y 24.

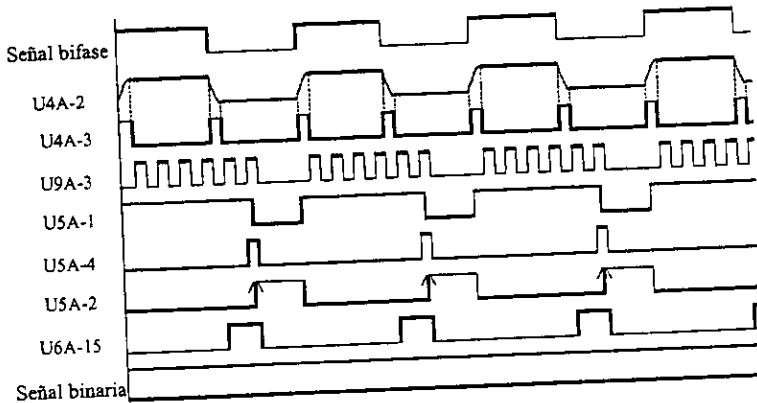


Figura 24. Demodulación de unos.

Una vez retrasada la señal bifase, se hace pasar por la compuerta or-ex U4A junto con la señal original. Esta compuerta da como salida un pulso justamente en el momento en que las dos entradas dejan de ser iguales. El resultado final es una serie de pulsos sincronizados con la señal bifase en cada uno de sus flancos, ya sea de subida o de bajada tal como se observa en las figuras 23 y 24.

Estos pulsos son el reloj del flip flop U5A, el cual tiene fija su entrada D a uno lógico. Es por ello que siempre que exista un flanco de subida en estos pulsos, la salida Q cambiará a uno en caso de estar en cero, o se mantendrá en uno en caso de ser este su estado anterior. Estos cambios son los que liberan el sistema del reset, al contar los 6 pulsos de 800 KHz. Este ciclo se repite indefinidamente hasta que se acaba de recibir la información de superficie tal como se muestra en las figuras 23 y 24.

La salida Q' de U5A sirve de reloj a la unidad U7A que es un flip flop con la señal bifase original en su entrada D. Es utilizada esta señal como reloj porque

su flanco de subida sucede al mismo tiempo en que termina el conteo de los 6 pulsos y es el momento en el que se muestrea la señal bifase en el flip flop U7A.

La salida Q de U7A es la entrada D del flip flop U7B con el mismo reloj que U7A. Como el cambio del dato de entrada D (U7B) es exactamente al mismo tiempo del flanco del reloj, este último arreglo va invirtiendo los estados, ya que en el momento del flanco aún se considera el estado anterior del dato D y entonces la salida Q del mismo flip flop, será D negada.

Finalmente el dato de entrada D y la salida Q' del último flip flop U7B serán iguales para cuando haya un cambio de estado entre dos muestras consecutivas, y serán diferentes para dos muestras consecutivas iguales. Estas señales son las entradas de la compuerta or-ex U4B, la cual nos presenta a su salida 1 lógico cuando estas son diferentes y 0 lógico para cuando estas son iguales. Esta salida es la información de superficie ya en forma binaria y lista para ser leída por el circuito de control.

Dentro del mismo diagrama de la **figura 22** se incluye la etapa de generación de relojes de 800, 200, 100 y 12.5 KHz. Estos son generados por la unidad U10 (MC14040) que es un contador ascendente que trabaja con los pulsos del reloj de 3.2 MHz, entregando así en todas sus salidas trenes de pulsos a diferentes frecuencias.

Otra unidad no mencionada hasta el momento es la U9B que trabaja con el reloj de 800KHz proporcionado por el circuito mencionado anteriormente. Este circuito se encarga de alimentar el set del flip flop U5A con un pulso cada $10\mu\text{s}$.

Ambos circuitos trabajan en conjunto ya que el reset del contador es la salida Q del flip flop y así éste avisa al contador que inicie el conteo cuando emite un pulso en Q. Pasados los $10\mu\text{s}$ el contador obliga al flip flop, por medio del set, a dar otro pulso y así el ciclo se repite solamente cuando no hay señal bifase a la

entrada, ya que cuando esta existe, su periodo de tiempo impide que el contador termine su ciclo de los $10\mu s$, y por ello éste pasa inadvertido.

3.4.1 Sincronización con superficie

Par realizar esta tarea se incluye el multivibrador de la unidad U21A (MC14538), que trabaja en compañía de la compuerta U23D (MC14071) y un inversor de U8 (MC14069), como se observa en la figura 25.

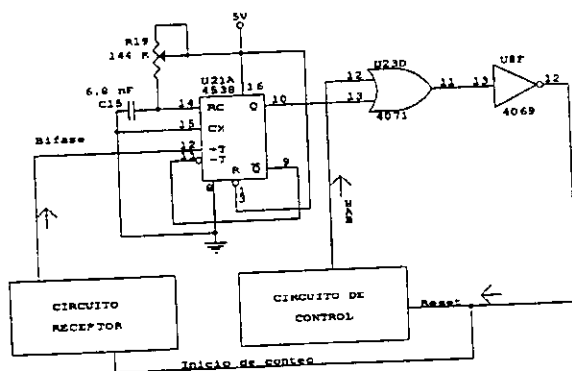


Figura 25. Circuito de sincronización.

La forma en que se sincroniza el reloj de fondo con el de superficie, es mediante el uso del multivibrador U21A disparado por la señal bifase recibida. Este multivibrador se dispara con el primer flanco de subida que existe en la señal bifase y tarda en estado alto $979\mu s$, tiempo necesario para recibir la trama de bits enviados de superficie ($144 \times 10^3 + 6.8 \times 10^{-9} = 979.2 \times 10^{-6}$).

Este multivibrador habilita el contador que genera los relojes para la recepción de la información. Así este contador proporcionará los relojes necesarios para el funcionamiento del sistema justamente en el momento en que inicie la llegada de la señal bifase.

Este contador U10 es el que proporciona los relojes usados en el modulador, por ello debe ser habilitado igualmente para el envío de información a superficie. Para tal efecto se utiliza la señal *HAB* generada por el microcontrolador, manteniéndose en estado alto el tiempo necesario para la transmisión de la información hacia superficie.

La salida de U21A y la señal *HAB* son sumadas por U23D, y la señal resultante se invierte para habilitar y deshabilitar el contador U10 por medio de su reset.

3.5 El circuito de control

El circuito de control tiene muchas tareas, entre ellas está la de recibir información tanto del cartucho electrónico como del demodulador y de entregar información tanto al modulador como al cartucho electrónico.

Esta información de entrada y salida debe pasar por el microcontrolador en el cual solamente tenemos dos puertos de 8 bits dedicados para este fin.

Dicha información entra y sale del circuito de control en forma serial con una velocidad de un bit por cada $10\mu\text{s}$.

La primera idea que se tenía era de que tal como vienen los bits en serie entraran al microcontrolador, pero dado que se deben correr algunas subrutinas dentro del mismo, entre palabra y palabra; la velocidad de este no permitió que se pudiera leer un bit cada $10\mu\text{s}$.

La solución a este problema fue la transformación de serie a paralelo de dicha información binaria, así pues de esta forma; el microcontrolador tendrá que leer y escribir cada $80\mu\text{s}$, dando tiempo así de que el software grabado en este corra todas las subrutinas en forma adecuada durante este tiempo.

Como podemos ver en la **figura 26**, este circuito se compone principalmente del microcontrolador (D87C51FA-1), un C.I. (74HC374), un registro de corrimiento

de 8 bits (MC14021), dos registros de corrimiento de 4 bits (MC14015), algunos switch, 2 multivibradores (MC14538) y tres comparadores (HA4905).

Como podemos observar en el diagrama, la unidad U12 es la encargada de sacar las palabras de 8 bits del microcontrolador cada $80 \mu\text{s}$, mientras que el registro de corrimiento U14 es el encargado de sacar dichas palabras en serie dirigidas hacia la unidad U16 que funciona como multiplexor.

De la unidad U16 se tiene la información de entrada al microcontrolador en forma serial, la cual se saca en paralelo por el registro U15 y se muestra al microcontrolador cada $80 \mu\text{s}$ para que este lea la palabra de 8 bits en su puerto 2 tal como se observa.

Dado que la señal bifase recibida de superficie se retrasa al demodularse, fue necesario retrasar también el reloj con el que la lee el registro U15, y para tal fin se incluye el registro U13B del cual se obtienen los dos relojes necesarios para leer lo que viene de superficie y lo que viene del cartucho electrónico.

Estos dos relojes defasados entre sí se multiplexan por la unidad U20 para que así el registro U15 lea *UDATA* y *DDATA*. El control de este multiplexor se hace con la señal *HAB* que se mantiene en uno para la lectura *UDATA* y en cero para la lectura de *DDATA*.

Como se mencionó anteriormente, el microcontrolador tiene 4 tareas principales que son recibir y dar información del demodulador y modulador respectivamente y a su vez recibir y dar información al cartucho electrónico. Es decir son dos grupos de palabras de origen distinto que llegan al microcontrolador y dos grupos de palabras con destino distinto que salen del mismo.

Como se puede apreciar en la **figura 26**, el registro U14 es el que saca las palabras en forma serie y las entrega a la unidad U16. En esta última es donde se

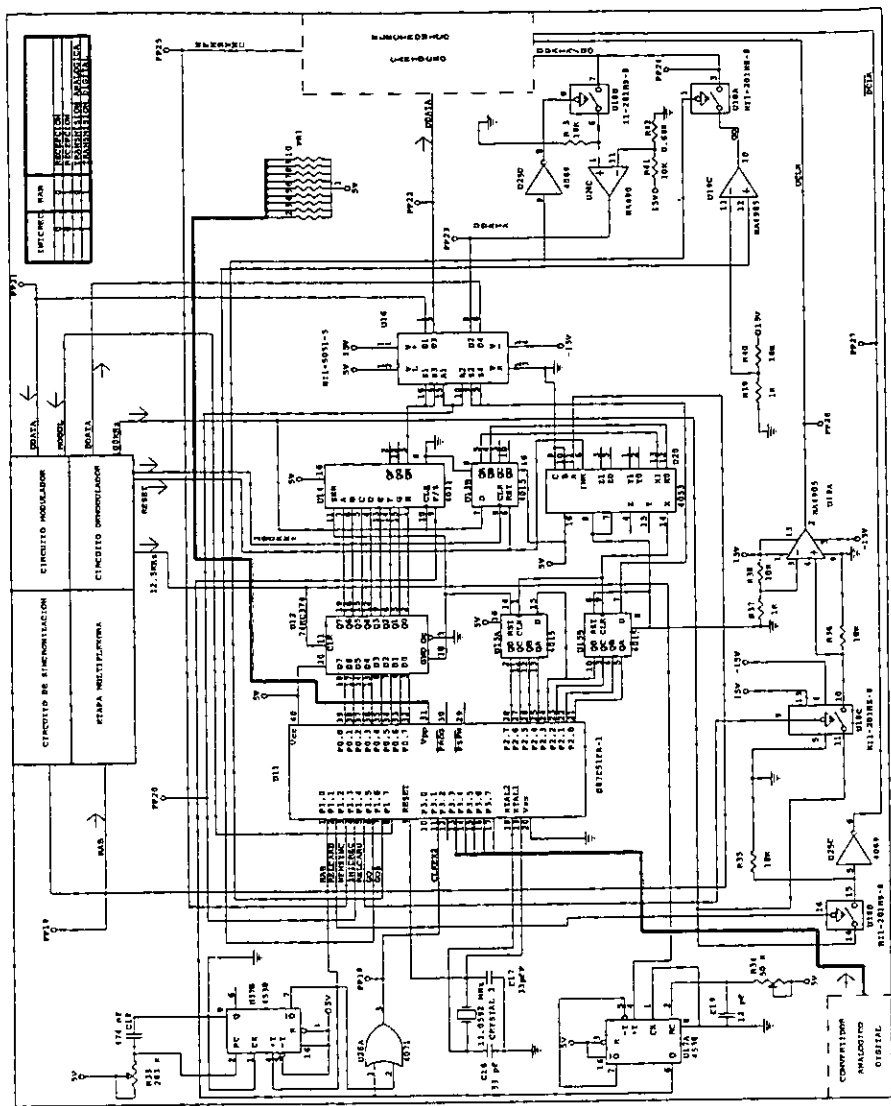


Figura 26. Circuito de control.

multiplexa la salida, ya sea hacia el modulador o hacia el cartucho electrónico.

De igual forma la unidad U16 es la encargada de multiplexar la entrada de información; ya sea del cartucho electrónico o del demodulador.

Estas dos multiplexaciones son controladas por la señal *INICREC* proporcionada por el microcontrolador y son realizadas por los 4 switch de la U16 (HI1 5051-5), conectados de tal forma que funcionan como dos multiplexores.

Como se observa en la **figura 26**, la unidad U17A es un multivibrador el cual da pulsos cada 80 μs al registro U14 en su entrada "p/s". Estos pulsos son los que hacen que U14 lea un nuevo dato en paralelo para sacarlo en serie durante los próximos 80 μs .

De igual forma estos pulsos de 0.6 μs de duración ($12 \times 10^{-12} \times 50 \times 10^3 = 0.6 \times 10^{-6}$) son los que indican al microcontrolador mediante su entrada *CLKEX2*, cada cuanto debe leer o escribir una palabra de 8 bits en sus puertos 0 o 2 respectivamente. Pero como observamos en el diagrama, la señal *CLKEX2* no viene directamente del multivibrador U17A, sino de la compuerta U26A que suma los pulsos de U17A con el valor que genera el multivibrador U17B cuando no se recibe la señal bifase a tiempo.

Es decir; U21A se habilita al inicio de la transmisión - recepción por medio de *HAB* y en caso de que transcurran 134.1 mS ($283 \times 10^3 \times 474 \times 10^{-9} = 134.1 \times 10^{-3}$) y no se reciba la señal bifase nuevamente, no existirá la señal *HAB* que redispere a U17B y mantenga su pin 7 en cero lógico, por lo tanto cambia a uno y la compuerta U26A lo hace llegar al microcontrolador, lo cual destraba al programa ya que este se quedaría esperando la señal *CLKEX2* indefinidamente.

La tarea que realizan las unidades U17B y U26A es la de habilitar al microcontrolador para que este siga enviando información a superficie cíclicamente, aún sin recibir nada. La razón por la cual se quedaría en espera el programa se explicará mas adelante en la sección 3.5.2.

Para que el cartucho electrónico reciba y envíe datos, es necesario un reloj, ya que estas tareas son realizadas por registros de corrimiento. En realidad son dos relojes; uno para que el cartucho electrónico lea datos (*DCLK*) y otro para que lo escriba (*UCLK*).

Estos relojes son generados por el circuito de control de la siguiente forma:

Del generador de relojes incluido en el demodulador, se obtiene uno de 100 KHz, el cual llega al switch U18D donde se habilita su paso con la señal *RELCARD* generada por el microcontrolador solamente al momento en que el cartucho electrónico debe leer información de superficie.

Realmente al cartucho electrónico se le envía la negación del reloj con el cual se sacan los bits del circuito de control, por lo que la salida de U18D se conecta al inversor U25C, el cual genera finalmente el reloj \overline{DCLK} listo para enviarse al cartucho electrónico.

Esta negación es para que al leer cada bit, el flanco de subida del reloj lector no coincida con el cambio de bit; es decir el flanco de subida sucederá siempre a medio bit y nunca al principio o final, lo que causaría errores en la lectura.

Para *UCLK* se tiene un procedimiento parecido. El mismo reloj de 100 kHz, se hace llegar al switch U18C el cual controla su paso mediante la señal *RELCARU* enviada por el microcontrolador justo en el momento en que el cartucho electrónico debe mandar respuesta a superficie. La diferencia en este reloj es que el cartucho electrónico lo necesita en niveles de 0 y 15 V. Y por ello la salida de U18C se conecta al comparador U19A, en el cual se le dan estos valores quedando listo para enviarse al cartucho electrónico como se observa en la **figura 26**.

Como los relojes vienen de 2 switches los cuales se cierran o se abren en determinado tiempo, se incluyen las resistencias R35 y R36 que mantienen estos

en estado bajo cuando los switches están abiertos, tal como se observa en el diagrama de la **figura 26**.

El puerto 1 y el puerto 3 del microcontrolador son utilizados para la salida y entrada de las señales de control del cartucho de telemetría.

En P1.0 se tiene la señal *HAB* que va al multiplexor analógico y al circuito de sincronización. Esta señal sirve principalmente para conmutar el uso del circuito amplificador.

En P1.1 tenemos *RELCARD* que habilita el envío de \overline{DCLK} al cartucho electrónico.

En P1.2 tenemos *WFMSYNC* que va al cartucho electrónico para saber el momento en que empieza la ventana analógica.

En P1.3 tenemos *INICREC* que habilita la entrada de datos al microcontrolador procedente del demodulador y la salida de datos del mismo microcontrolador dirigidos al cartucho electrónico por medio de U16.

En el momento que *INICREC* cambia a uno, U16 conmuta para que la entrada de datos al microcontrolador sea del cartucho electrónico y su salida de datos vaya al modulador.

En P1.4 tenemos la señal que habilita el envío de *UCLK* al cartucho electrónico; "*RELCARU*".

En P1.5 tenemos el pulso *GO* que se envía al cartucho electrónico para informar que ha empezado el ciclo de transmisión recepción.

En P1.6 se tiene *GOS* que habilita el envío de *GO* al cartucho electrónico.

Este envío de *GO* al cartucho electrónico se hace por la misma línea donde se reciben los datos de éste; "*UDATA*". Es decir, un solo conductor sirve para recibir *UDATA* y para enviar *GO*.

Para realizar tal multiplexaje del uso de la línea se utilizan las unidades U18B y U18A, como se observa.

GO se conecta del microcontrolador al comparador U19C que la convierte a niveles de 0 y 15 voltios (ya que así lo requiere el cartucho electrónico) y la entrega al switch U18A el cual habilita su paso hacia la línea *UDATA / GO* por medio de la señal *GOS*.

Esta misma línea, *UDATA / GO*, se conecta al switch U18B el cual se habilita por \overline{GOS} para permitir el paso de *UDATA* a la unidad U24C. El cambio de *GOS* impide que *GO* llegue al comparador U24C.

Dado que *UDATA* viene del cartucho electrónico en valores de 0 y 15 Voltios, es convertido a valores TTL por medio del comparador U24C, y se envía a la unidad U16 para que entre al microcontrolador.

En P1.7 se tiene la señal *MODUL* que habilita al modulador para que este genere la señal bifase solamente cuando haya información que enviar, ya que de lo contrario generaría una señal continua de 50 KHz al interpretar la ausencia de información como cero lógico. De esta forma, cuando no existe transmisión digital, a la salida del modulador no hay señal alguna.

En el puerto 3 tenemos las señales de control que entran al microcontrolador.

En P3.1 llegan pulsos de $0.6\mu s$ cada $80\mu s$. Estos pulsos le indican al microcontrolador del inicio de una palabra de 8 bits, ya sea para leer o para escribir.

Estos pulsos son generados por el multivibrador U17A el cual tiene como entrada el reloj de 12.5 kHz que viene de del circuito demodulador.

De P3.3 a P3.7 se reservan para la entrada de la palabra que proviene de un CAD que nos proporciona el voltaje de alimentación que está recibiendo la herramienta *SONIMP*, para que sea incluida en una de las palabras de estado de la trama de subida.

3.5.1 Características del microcontrolador

El microcontrolador usado en el desarrollo del cartucho telemétrico, no fue precisamente seleccionado entre la infinita variedad que se encuentran en el mercado. Por ello no se puede hablar de una selección del microcontrolador ya que en ningún momento existió comparación entre varios de estos para adquirir el que más se apegara a las necesidades del sistema.

Lo que se hizo fue simplemente tomar un microcontrolador que ya existía en el laboratorio.

La existencia de este microcontrolador no es casual sino que este es el tipo de microcontroladores con los que se trabaja en otras partes del sistema *SONIMP* y por ello al adquirir varios de estos para posibles mantenimientos a este sistema, se presentó la facilidad de utilizarlo igualmente en el cartucho de telemetría. Obviamente antes de utilizarlo se comprobó que realmente cumpliera con las características necesarias para el funcionamiento de este cartucho.

A continuación se presentan las características de dicho microcontrolador.

Microcontrolador D87C51FA-1.

- Tecnología CMOS
- 8K x 8 EPROM
- 128 x 8 RAM
- 32 líneas de entrada / salida
- 2 contadores de 16 bits
- Un puerto serial de entrada / salida
- Frecuencia de operación de 3.5 a 12 MHz

3.5.2 Implementación del programa

El objetivo principal que debe cumplir el software grabado en el microcontrolador es realizar el mayor número de tareas posibles para minimizar el hardware del cartucho de telemetría. Esto se debe hacer cuidando de no

excederse ya que la capacidad de memoria del microcontrolador es limitada y además el exceso de instrucciones puede volver al sistema un poco lento.

En el apéndice A se incluye una copia del programa en lenguaje ensamblador para facilitar la comprensión de esta sección.

Para la ejecución de este programa fue necesario el uso de los 4 puertos; el puerto uno con señales de control como salidas, el puerto dos con los datos de entrada en palabras de 8 bits, el puerto tres con señales de control como entradas y el puerto cero con los datos de salida formados por palabras de 8 bits.

El algoritmo principal del programa lo realiza la subrutina denominada "LAZO-PRIN", la cual inicia dando uno lógico a la salida *HAB* para informar al hardware de control que el ciclo da inicio, e inmediatamente después, envía 8 ceros a la salida mediante el puerto cero.

Dentro de la misma subrutina "LAZO-PRIN", se inicializan todas las variables con los siguientes valores:

GOS y *GO* con cero lógico.

MODULA, *RELCARD*, *RELCARU*, *INICREC* y *WFMSYNC* con uno lógico.

El reloj *CLKEX2* es el encargado de sincronizar la ejecución del programa con todos los circuitos externos al microcontrolador, y debido a que este se genera en forma externa, cada vez que el software necesita conocer el estado de dicho reloj es llamada la subrutina "TIE2", la cual se encarga de localizar los flancos de subida de *CLKEX2*.

Después de que se enviaron los 8 ceros de inicio, se pone a uno lógico la salida *GO*, con lo cual se avisa al cartucho electrónico que se prepare para transmitir los datos obtenidos en el ciclo anterior.

Posteriormente se envían las 2 palabras de 8 bits del *FSP*. Antes de que se termine de enviar el *FSP* se debe deshabilitar la salida *GO* ya que esta señal solamente es un pulso de 20 μ s apx. Terminando el *FSP*, sigue el envío de las

palabras de estado de la herramienta, para lo cual se forman primeramente, se graban en memoria y se leen las grabadas en el ciclo anterior mandando estas últimas a superficie.

Este retraso de un ciclo es necesario para dar tiempo a que se calcule el *CRC* mientras transcurre el tiempo de la ventana analógica. Es decir, el *CRC* se calcula con los datos grabados en memoria y posteriormente es enviado cuando llega su turno. Hay que recordar que dentro de las palabras de estado se incluye el resultado del convertidor analógico digital, por lo cual durante la formación de dichas palabras se incluye la lectura de este resultado.

Al terminar la transmisión de las palabras de estado continua el envío de la información procedente del cartucho electrónico, la cual va ingresando al microcontrolador en palabras de 8 bits y es almacenada en memoria y leída un ciclo después para enviarla a superficie. Este retraso tiene la misma finalidad que el de las palabras de estado.

Inmediatamente después del envío de esta información agrupada en 4 palabras se envía el *CRC* almacenado en memoria y calculado durante la ventana analógica anterior con las palabras correspondientes. Este *CRC* está formado por dos palabras de 8 bits. Para concluir la trama de subida se envían los 8 ceros finales para indicar al receptor de superficie del fin de la transmisión digital. Con esta tarea se da inicio a la ventana analógica al poner a cero lógico las salidas *HAB* y *WFMSYNC* y mediante la subrutina "ANMOD" se calcula el *CRC* que será enviado durante la próxima transmisión.

Al finalizar el cálculo del *CRC*, el programa trabaja en la subrutina "VEN", que solamente consume el tiempo restante para que se lleve a cabo la transmisión sónica. Una vez concluida esta subrutina se pone a uno lógico la salida *WFMSYNC* (termina la ventana analógica) y a cero lógico la salida *INICREC* que marca el inicio de la recepción.

En este momento el programa se queda esperando a que llegue la señal bifase y lo hace en la subrutina "TIE2", en la cual se queda esperando hasta obtener respuesta de *CLKEX2*.

En el momento que llega la señal bifase de superficie, el circuito de sincronización habilita la unidad U10 que genera los relojes incluyendo el de 12.5 Khz que sirve para generar los pulsos que llegarán al microcontrolador en *CLKEX2*.

En caso de que no llegara la señal bifase en un tiempo determinado, la unidad U17B genera uno lógico que llega a la entrada *CLKEX2* por medio de la compuerta U26A, y el programa se libera siguiendo con las subrutinas de recepción y terminando el ciclo de transmisión - recepción desechando la posible información leída al no coincidir los 2 *CRC*, el leído y el calculado.

De esta forma el microcontrolador vuelve a iniciar en "LAZO PRIN" sin enviar información alguna al cartucho electrónico.

La lectura de los datos procedentes de superficie la realizan las subrutinas "FSP" y "CUENTA", siendo la primera la encargada de leer el *FSP*. La segunda se encarga de leer las instrucciones de superficie, almacenarlas en la memoria del microcontrolador, calcular el *CRC* con los datos leídos, leer el *CRC* enviado de superficie, comparara los dos *CRC* y en caso de coincidir estos, mandar al cartucho electrónico las 4 palabras almacenadas.

En el caso de que los *CRC* difieran se llama a la subrutina "CRCMAL" la cual pone a uno lógico el bit de la palabra de estado que indica un *CRC* incorrecto y entra a un retardo para esperar el nuevo ciclo de transmisión - recepción.

Al final de las subrutinas "CAREL" (envío de datos al cartucho electrónico) y "CRCMAL" se incluyen retardos que sirven para que la herramienta ejecute las mas recientes instrucciones que se le hayan dado, completando así el ciclo de

133.33 mS de transmisión - recepción y saltando a "LAZO-PRIN" para volver a iniciar con otro ciclo.

3.6 El circuito modulador

La modulación está a cargo del flip flop JK U22B (MC14027), la compuerta OR U23B (MC14071) y el amplificador operacional U2A (LF347D).

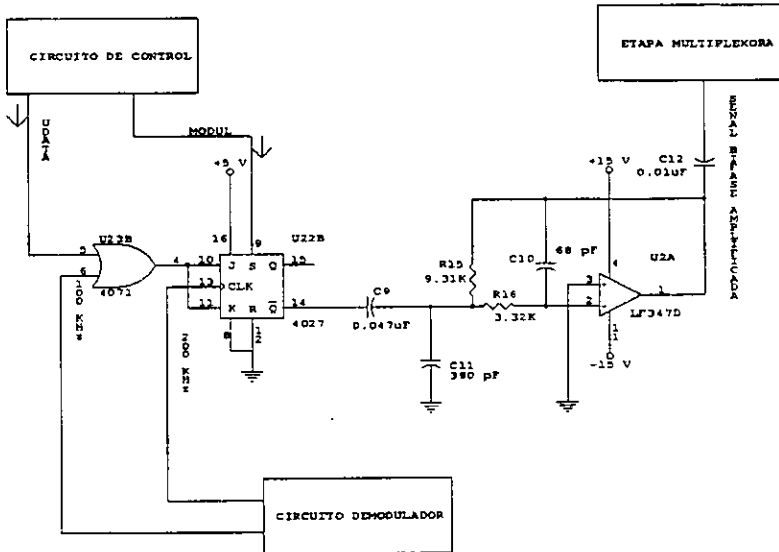


Figura 27. Circuito modulador.

Tal como se aprecia en la figura 27; en una entrada de la compuerta OR tenemos la trama de bits que se envía a superficie, y en la otra un reloj de 100KHz generado por U10 del circuito demodulador.

A la salida de la compuerta se tiene el mismo reloj que hay a su entrada cuando el bit a enviar es cero lógico, ya que cualquier señal sumada con cero da

como resultado esta misma. En el caso de que el bit de información sea uno lógico, se obtendrá siempre un estado alto a la salida de la compuerta.

La entrada del flip - flop es la salida de la compuerta y su reloj de 200 KHz es obtenido del mismo circuito de la etapa de demodulación mencionado anteriormente (U10). Este flip - flop lee los datos de sus entradas (J y K) cada flanco de subida de su reloj, y dado que éstas están cortocircuitadas tendremos en su salida Q' el estado anterior en el caso de haber un cero a la entrada, y el estado anterior negado en caso de que la entrada sea uno lógico.

Como se puede observar en el diagrama de la **figura 28**; cuando se transmite un cero lógico; los flancos de reloj del flip - flop coinciden con cada uno de los diferentes estados de su entrada (pin 13 y 10 de U22B) por lo tanto en un flanco se lee el dato uno y se obtiene a la salida el estado anterior negado, en el siguiente flanco se lee el dato cero y se conserva la salida con el estado anterior, para el siguiente flanco se lee uno como dato y nuevamente se obtiene a la salida el estado anterior negado. Así sucesivamente se va generando una señal cuadrada de 50 KHz mientras se tenga como información el cero lógico. En el caso de que el bit de información sea uno lógico, la salida del flip - flop siempre será el estado anterior negado ya que su entrada siempre será uno (pin 10 U22B).

En este caso se genera la señal cuadrada de 100 KHz, que representa el envío de uno lógico tal como se muestra en el diagrama de tiempos de la **figura 28**.

Una vez modulada la información, se somete a una etapa de filtrado y amplificación como se muestra en la **figura 27**.

El filtro usado para este fin está compuesto por U2A (LF347D), C₉, C₁₀, C₁₁, R₁₅ y R₁₆, y es de tipo pasa banda con una ganancia de voltaje máxima aproximada de 19 para frecuencias de 10 KHz y con la siguiente función de transferencia:

$$\Delta V = - \frac{SR_{15}C_9}{S^2C_{10}R_{15}R_{16}(C_9 + C_{11}) + SC_{10}(R_{15} + R_{16}) + 1}$$

La función principal de este arreglo es convertir la señal digital de 0 y 5 Voltios a una señal analógica para que el circuito amplificador pueda amplificar tanto estados altos como estados bajos de la señal bifase.

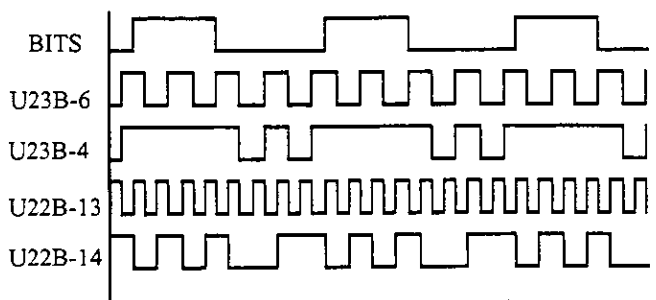


Figura 28. Diagrama de tiempos de la modulación.

3.7 El circuito amplificador

El amplificador de potencia que observamos en la figura 29 es de tipo Push – Pull clase AB. La corriente de Q₅ y Q₈ se predispone entre 7 y 25 miliampers para la máxima temperatura.

Esta corriente de predisposición es controlada por Q₃ y Q₄. El circuito forma un espejo con ganancia igual a 5. Esta ganancia está dada por las resistencias R₂₇ y R₂₈ y los componentes equivalentes en la mitad negativa del circuito.

Q₆ y Q₇ se conectan como diodos y sirven para compensar la temperatura. La resistencia R₃₀ acopla el amplificador a la impedancia del cable, la salida del amplificador se acopla directamente al primario del transformador.

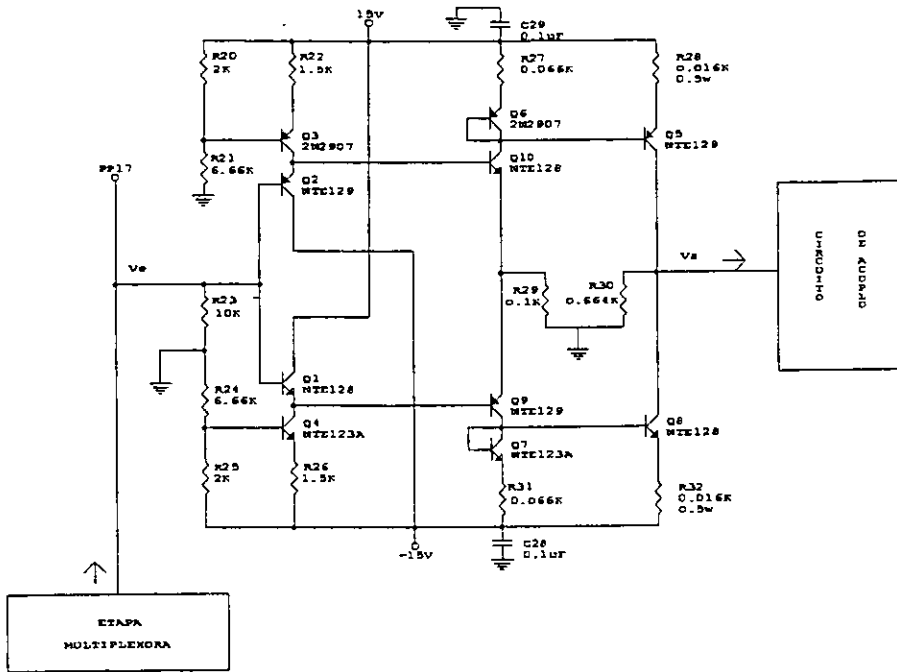


Figura 29. Circuito amplificador.

4

CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS DE LABORATORIO

Antes de obtener un circuito final, se armó parte por parte del cartucho en tarjetas prototipo y se comprobó el funcionamiento de cada una de estas para que después se fueran conectando una a una hasta llegar a la integración total.

En el presente capítulo se da la explicación del proceso de pruebas de laboratorio y se incluyen algunos comentarios de los problemas enfrentados durante la realización de estas.

4.1 Pruebas del circuito receptor

Este fue el primer circuito armado y por lo tanto solamente se contaba con el equipo de laboratorio para realizar las pruebas, tal como es; generador de funciones y fuentes de corriente directa.

Idealmente se debió probar con una señal bifase distorsionada tal como la que observamos en la **figura 30**, pero al no tenerla se recurrió a la señal de corriente alterna del generador de funciones.

Como recordamos, en la sección 3.3 se explicó el funcionamiento de este circuito y se dijo que su tarea principal es reconstruir la señal bifase distorsionada para que sea leída correctamente por el demodulador.

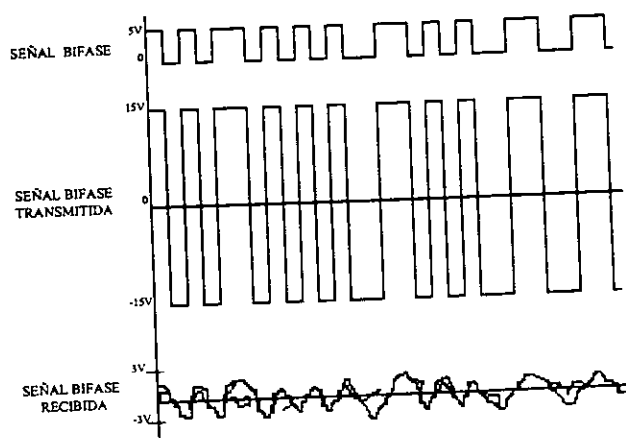


Figura 30. Deformación de la señal bifase.

Como observamos en la **figura 30**, para que la señal bifase sea transmitida, se convierte en una señal de corriente alterna de 30 Vpp.

En superficie se genera una señal parecida para ser enviada a fondo, pero después del recorrido por el heptacable se tiene como resultado una señal muy

deforme con ruido y atenuaciones la cual se debe reconstruir para que el demodulador la interprete correctamente.

Como se mencionó anteriormente, al no tener una señal deforme como la que vemos en la figura, se utilizaron para las pruebas respectivas, las señales que proporciona el generador de funciones deformándolas un poco con la ayuda de capacitores y resistencias de distintos valores.

Con esto se logró comprobar el funcionamiento del circuito receptor obteniendo resultados satisfactorios hasta para señales cuadradas, triangulares y senoidales de 2.8 Vp como mínimo.

Las frecuencias a las que se probó dicho circuito fueron solamente entre 10 y 200 KHz, considerándolas suficientes, ya que los pulsos de la señal bifase son equivalentes a frecuencias de 50 y 100 KHz.

4.2 Pruebas del demodulador y del modulador

Para comprobar que el reloj y el contador (incluidos en el circuito demodulador) trabajaran correctamente, solamente fue necesario el uso del osciloscopio.

Así pues se pudieron ver señales de reloj de 3200, 1600, 800, 400, 200, 100, 50, 25, y 12.5 KHz al conectar una de las entradas del osciloscopio en los pines correspondientes de los circuitos integrados.

Para probar el demodulador, igual que para el receptor, se requería de la señal bifase, pero al no tenerla disponible se recurrió al generador de funciones calibrándolo con una señal cuadrada de 0 a 5 voltios y variando su frecuencia de 50 a 100 KHz.

Dado que la señal portadora de la señal bifase es de 100 KHz, la modulación de una secuencia de ceros da como resultado una señal con frecuencia de 50KHz y la de una secuencia de unos da como resultado una de 100 KHz.

Es por ello que al proporcionar al demodulador la señal de 50 KHz se obtuvo un cero lógico y al conectar la señal de 100 KHz a su entrada, se obtuvo un uno lógico. De esta forma se logró comprobar el funcionamiento del demodulador.

La prueba del modulador fue relativamente sencilla ya que solamente se puso a su entrada un 1 lógico observando a su salida la señal de 100 KHz y poniendo el cero lógico a la entrada, se observó una señal de 50 KHz a la salida.

Si recordamos en la sección 3.6; junto al modulador se incluye un filtro amplificador el cual eleva la señal bifase a niveles de ± 15 voltios con la finalidad de proporcionar una señal simétrica de C.A. al circuito amplificador, para que este la pueda acondicionar para ser transmitida.

La prueba de esta parte no causó gran problema ya que con el osciloscopio fue suficiente para ver la señal bifase convertida en C.A.

4.3 Pruebas del amplificador y del circuito de control

Para probar el amplificador solamente fue necesario el equipo de laboratorio comprendido por un osciloscopio, un multímetro, un generador de funciones y una fuente bipolar de corriente directa.

Se alimentó la entrada del amplificador con una señal del generador de funciones y se comprobó mediante el osciloscopio la amplificación a su salida.

Respecto al circuito de control recordaremos que una de sus tareas más importantes es la conversión de la señal binaria de serie a paralelo y de paralelo a serie, ya que gracias a esto el microcontrolador puede comunicarse con el resto del cartucho de telemetría.

Para comprobar el funcionamiento de esta parte fue necesario el uso de 9 diodos emisores de luz (LED) que fueron usados para monitorear las palabras

que se hicieron pasar por los registros de corrimiento para comprobar su funcionamiento.

La prueba se realizó de la siguiente forma:

Se sustituyó el microcontrolador por un arreglo de 8 leds con sus respectivas resistencias y 8 switches. Los leds se conectaron en lugar del puerto 2 y los switches en lugar del puerto 0.

Posteriormente se conectó el pin 3 del registro U14 con el pin 7 del registro U15, es decir se conectó la salida serie con la entrada serie del circuito de control y en este mismo punto se conectó el noveno LED.

Con los 8 switches conectados se formó una palabra y al excitar el circuito con los respectivos relojes se pudo leer en los leds esta misma palabra.

Al bajar la frecuencia de los relojes se logró apreciar, en el noveno led conectado, el paso de las palabras pero en forma serial.

De esta forma se logró comprobar la conversión de la información de los switches en paralelo al noveno led en serie y su regreso a paralelo de este mismo al grupo de 8 LEDS.

Incluyendo en esta misma prueba la unidad U16 e intercambiando entre uno y cero lógico los controles de esta, se comprobó también la multiplexación que se debe realizar para mandar información al cartucho electrónico y al modulador y recibir información del cartucho electrónico y del demodulador.

Conectando este circuito con el modulador, el demodulador, el receptor, el amplificador, el circuito de acoplo y un simulador del heptacable se hicieron pruebas para comprobar el funcionamiento de todas estas partes en conjunto tal como se observa en la **figura 31**.

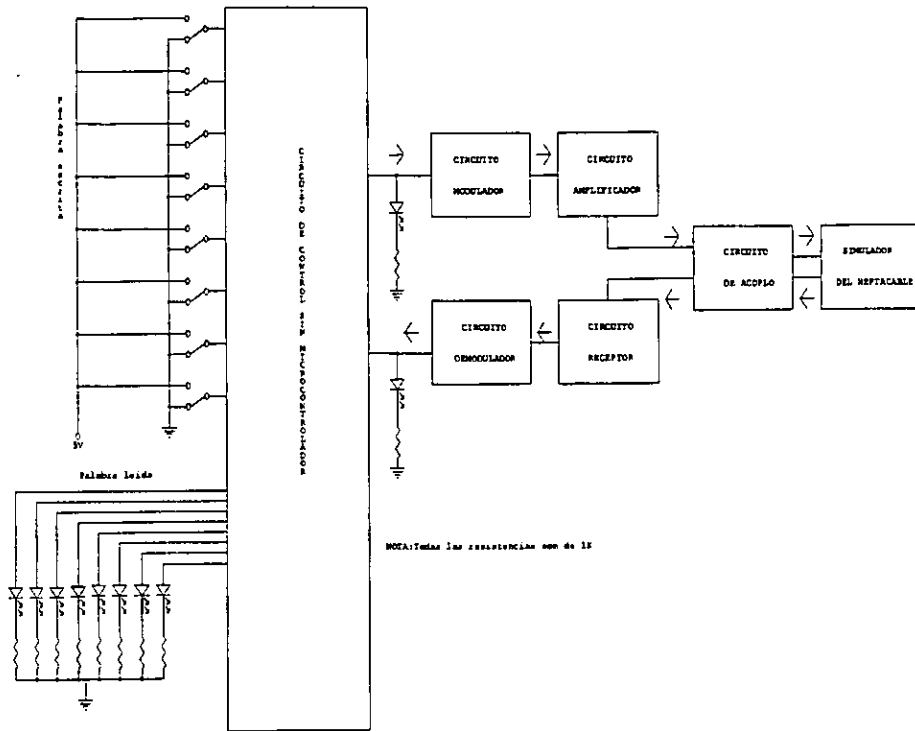


Figura 31. Circuito de prueba.

La prueba consistió en lo siguiente.

La salida serie del circuito de control se conectó al modulador y su salida de éste al amplificador.

El amplificador se conectó con el circuito de acoplo y su salida de éste al simulador del heptacable, así la salida de este simulador nos proporcionó la señal bifase distorsionada que nos hacía falta para probar el circuito receptor.

Se hizo la conexión del simulador con el circuito de acoplo, de éste con el receptor y la salida del receptor se llevó al demodulador, el cual se conectó a la entrada serie del circuito de control y se obtuvo el circuito de la **figura 31**.

Al igual que cuando se probó solamente el circuito de control, se escribieron palabras en los 8 switches y se leyeron estas mismas en los 8 leds.

Los leds conectados a la salida y entrada del circuito de control permitieron ver el paso de las palabras en serie cuando se bajaba la frecuencia de los relojes.

En lo que respecta a la inclusión del microcontrolador, la etapa multiplexora y la etapa de sincronización; fue posible hasta que se integró el cartucho de telemetría con los módulos simuladores del sistema *SONIMP*, esto se explicara en la sección siguiente.

El programa grabado en el microcontrolador se modificó en varias ocasiones, pero gracias al uso del software *SIM8051* (simulador), se logró concluir satisfactoriamente.

4.4 Pruebas finales

Para probar el cartucho telemétrico en su totalidad era necesaria la presencia del sistema *SONIMP* completo.

En laboratorio se cuenta con una parte del equipo de superficie la cual consta del modulo de telemetría, la microcomputadora, la *UPS*, y el osciloscopio digital, lo cual fue suficiente para realizar las pruebas necesarias. Pero en lo que respecta al equipo de fondo; no se contaba con él, lo cual dificulto un poco las primeras pruebas que se hicieron ya que se tuvo que simular el cartucho electrónico con 8 registros de corrimiento, 32 *LEDS* y 32 switches.

Desde la creación del sistema *SONIMP* hasta la fecha (1999) se encuentra vigente un programa de mantenimiento al equipo de este sistema que *PEMEX*

utiliza para llevar a cabo los registros sonar en las cavidades de Tuzandepetl Veracruz.

Para realizar este mantenimiento hay 2 opciones; que el personal del *IMP* valla a Tuzandepetl o transportar el equipo a las instalaciones del *IMP* cuando se requiere una revisión mas detallada.

Durante el tiempo en que se desarrolló la presente tesis, no había sido necesario el mantenimiento dentro del *IMP*, sino que hasta el momento en que se realizaban las pruebas con la simulación del cartucho electrónico, fue cuando se trasladó el equipo desde Veracruz a las instalaciones del *IMP* en la Ciudad de México, facilitando así la realización de las pruebas con el cartucho electrónico real y la sonda mecánica.

Una tercera prueba consistió en conectar el sistema pero con el heptacable real ya que todas las pruebas anteriores se realizaron con un simulador de éste por razones de espacio, ya que el carrete de heptacable de 4000 metros se encuentra en otro laboratorio y además de que es muy pesado y voluminoso.

4.4.1 Pruebas simulando el cartucho electrónico

Dentro del cartucho electrónico, se cuenta con una etapa que sirve para acondicionar las señales que entran y salen de éste. Esta etapa se llama interfaz de telemetría.

Al momento de realizar las pruebas con el simulador del cartucho electrónico se usó una tarjeta con la interfaz de telemetría que se utilizará para la construcción de un nuevo cartucho electrónico.

Para simular la tarea principal de este cartucho que es la de comunicarse con el cartucho de telemetría mediante la lectura y escritura de la información binaria, se armó un circuito con componentes iguales a los que se usan dentro de este mismo.

Así pues se conectaron ocho registros de corrimiento (4 C.I. MC14021 y 4 C.I. MC14094) de la misma manera que están conectados en el cartucho electrónico, incluyendo también 32 switches para formar las palabras a enviar y 32 *LEDS* para leer las palabras recibidas.

Para simular la señal *UDATA*, se conectaron en serie los cuatro registros MC14021 que generarían la cadena de los 32 bits necesarios.

En las entradas paralelo de estos registros de corrimiento se formaron las 4 palabras de 8 bits mediante los 32 switches que realmente eran cables conectados a tierra o a 5 Voltios.

Se observó mediante el osciloscopio como pasaba por el cartucho de telemetría la serie de bits generados y como llegaba al equipo de superficie después de pasar por el simulador del heptacable, así como por el modulador de fondo y el demodulador de superficie.

La forma en que se observaron en superficie las señales mencionadas fue en la pantalla de la microcomputadora dentro de los espacios dedicados a leer la información que se recibe de fondo dentro del programa *SONIMP_2*.

Una de las pantallas que este programa muestra al usuario para su intercomunicación, se observa en la **figura 32**.

Dentro de esta misma pantalla hay espacios en los cuales se cambian las instrucciones enviadas a fondo, las cuales pasan por el simulador del heptacable, el cartucho de telemetría y llegan al circuito simulador del cartucho electrónico en el cual se leen mediante los 32 *LEDS*.

La forma en que se leyeron estos datos (señal *DDATA*) fue mediante los 4 registros MC14094. Igual que los MC14021, estos registros se conectaron en serie y de sus 8 salidas paralelo de cada uno se conectaron los *LEDS* mencionados.

Al lograr esta comunicación entre la microcomputadora del equipo de superficie y el simulador del cartucho electrónico, se comprobó la correcta

operación del circuito diseñado, ya que toda la información en ambos sentidos pasa por el microcontrolador del cartucho de telemetría y de esta forma quedó comprobado el funcionamiento de dicho cartucho en su totalidad, ya que para que la información entre y salga del microcontrolador es necesario que el circuito de control funcione correctamente, así como el software grabado en dicho microcontrolador.

Cabe recordar que este software no solamente lee y escribe información, sino que también calcula los códigos de detección de error, ordena las tramas de subida incluyendo las 2 palabras de estado, manda al cartucho electrónico señales de control como *GO*, *DCLK* y *UCLK* necesarios para leer y escribir en este cartucho.

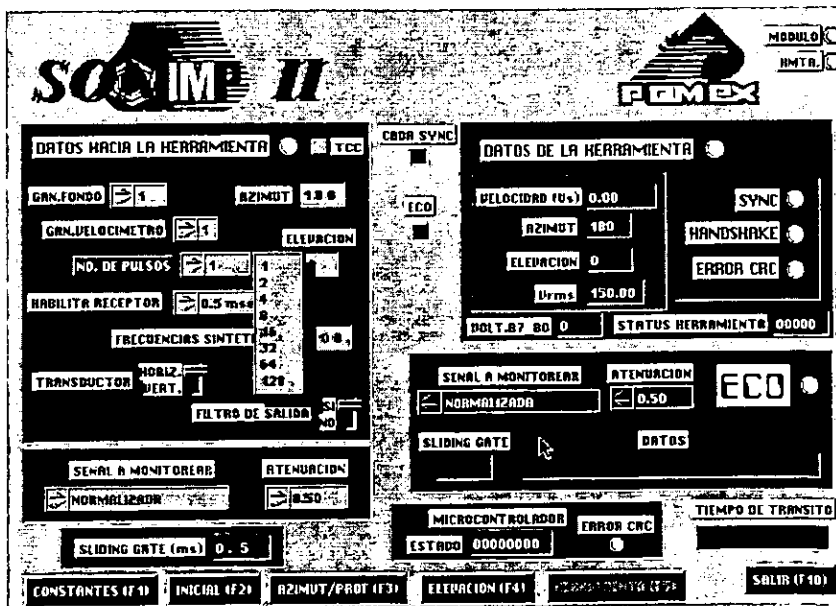


Figura 32. Programa SONIMP_2.

4.4.2. Pruebas con el cartucho electrónico real y la sonda mecánica

En el momento en que se realizaban las pruebas con el simulador del cartucho electrónico, llegó al IMP el equipo de fondo del sistema SONIMP para darle mantenimiento, pero ya que durante estas pruebas se encontraron algunos detalles que corregir al cartucho de telemetría, no fue sino hasta que se concluyeron estas correcciones cuando se conectó el sistema completo incluyendo la sonda mecánica.



Figura 33. Sistema SONIMP operando en laboratorio.

Una vez conectado el sistema real como se ve en la fotografía de la figura 33 se corroboró el funcionamiento del cartucho de telemetría al indicar instrucciones en la microcomputadora del equipo de superficie y observar como la sonda obedecía a dichas instrucciones.

Lo mas ilustrativo de estas ordenes fue cuando se le daba algún valor de azimuth o elevación y la sonda posicionaba los transductores hacia el lugar que se le indicara haciendo giros de 1 a 359^o y elevaciones de 1 a 90^o.

4.4.3. Pruebas con el heptacable real

Todas las pruebas hechas anteriormente se realizaron con la ayuda de un simulador del heptacable formado por resistencias, capacitores e inductancias que representan 5000 metros de longitud.

El carrete de heptacable real con el que se cuenta en el *IMP* es muy difícil de mover ya que es muy voluminoso y pesa aproximadamente 2200Kg. Este carrete se encuentra ubicado en un laboratorio apartado al cual se dificulta el acceso del rack que contiene al equipo de superficie y la polea que sostiene a la sonda mecánica (esta solamente debe trabajar en forma vertical), razones por las que se utilizó siempre el simulador.

Lo que se hizo para realizar las pruebas con el heptacable real fue llevar solamente el modulo de telemetría de superficie, el cartucho de telemetría, un osciloscopio y una fuente de corriente directa al lugar donde se encuentra el carrete mencionado.

La prueba consistió en conectar el cartucho de telemetría a un extremo del heptacable y el otro extremo de éste al modulo de telemetría de superficie como se observa en la fotografía de la **figura 34**.

La necesidad de realizar esta prueba era de que el simulador del heptacable podría hacer deformaciones o atenuaciones diferentes a las que pudiera hacer el heptacable real y la etapa de recepción del cartucho de telemetría no funcionara correctamente.

Después de alimentar el sistema y observar las señales por medio del osciloscopio, se comprobó que realmente el heptacable no atenúa la señal como

el simulador, pero si la deforma un poco más que éste. Sin embargo, aún con estas variaciones en la señal de recepción, el cartucho de telemetría trabajó correctamente.

Para hacer estas pruebas se quitó la tapa del modulo de telemetría de superficie para conectar las puntas del osciloscopio en sus tarjetas electrónicas y observar las señales de transmisión – recepción.

De esta forma se evitó transportar la microcomputadora para conectarla al modulo telemétrico, ya que al poder ver las señales mediante el osciloscopio, no fue necesario ver los datos en la pantalla del programa *SONIMP_2*.

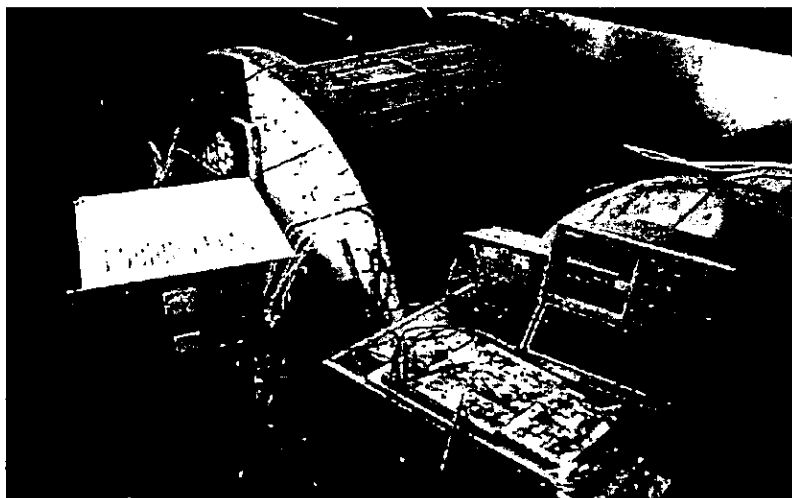


Figura 34. Heptacable real y partes del sistema *SONIMP*.

Un detalle muy importante que no se había considerado es de que cuando el sistema *SONIMP* trabaja en las cavidades, circula por el heptacable una corriente de 250 mA en sus conductores 1 y 4. Esta corriente es la que demanda el equipo de fondo de la fuente de alimentación de 250 VCA ubicada en superficie.

Al suponer que esta corriente podría provocar demasiada interferencia en las señales de comunicación que circulan en los conductores 2,3,5 y 6 del heptacable, dado que los 7 conductores de éste se encuentran trenzados, se procedió a realizar una prueba más.

La prueba consistió en hacer pasar una corriente por los conductores 1 y 4 del heptacable mientras se establecía comunicación entre el cartucho de telemetría y el módulo de telemetría de superficie.

Para generar esta corriente se utilizó un transformador conectado a 127 VCA, con el cual se doblo el voltaje a 254 Voltios y se conecto a los conductores 1 y 4 del heptacable. Al otro extremo de los mismos conductores se conectó una resistencia variable mediante la cual se hizo circular una corriente de hasta 500 mA.

Se volvieron a ver las señales de transmisión – recepción mediante el osciloscopio, obteniendo resultados satisfactorios hasta para corrientes de 400 mA, rango suficiente para que el sistema *SONIMP* trabaje adecuadamente con el nuevo cartucho de telemetría.

Conclusiones

En ocasiones el almacenamiento temporal de petróleo en las cavidades de Tuzandepetl Veracruz, provoca ligeros deslaves o rompimientos de bloques salinos dentro de éstas, debido a las operaciones de llenado y vaciado.

Estas operaciones se seguirán realizando indefinidamente, (durante la vida útil de la cavidad) por lo que la necesidad de explorar las cavidades mediante los registros sonar para conocer su evolución geométrica, también será por tiempo indefinido.

Mientras se siga utilizando el sistema *SONIMP* para realizar dichos registros, la tecnología seguirá evolucionando y así mismo seguirán surgiendo infinidad de posibilidades de actualizar este sistema para mantenerlo competente y salvarlo de la obsolescencia.

La actualización del sistema *SONIMP* que se propone mediante esta tesis, deja las puertas abiertas para realizar diversos trabajos futuros con miras a mejorar la eficiencia de este.

Un ejemplo podría ser la fusión del cartucho de telemetría con el cartucho electrónico, con lo cual se podrían eliminar etapas acondicionadoras de señales de ambos cartuchos, así como las fuentes de corriente directa de alguno de ellos.

Otro ejemplo podría ser el reordenamiento de las tramas de bits utilizadas, para lo cual se tendría que modificar igualmente el modulo de telemetría del equipo de superficie, pero se eliminarían palabras de ceros innecesarias dejando espacio para enviar información con uso específico, e incluso se podría aumentar el número de palabras en las tramas de forma que se pudieran incluir instrucciones para otros dispositivos dentro del equipo de fondo.

Un ejemplo mas podría ser; sustituir más hardware por software dentro del cartucho de telemetría. Así podríamos seguir modificando el sistema eternamente mientras resulte ventajosa dicha modificación.

Todos estos cambios se traducirían a trabajo e investigación dentro del *IMP* y a la respectiva autorización por parte de *PEMEX*, ya que puede llegar un momento en que no le convenga gastar con una nueva versión del sistema si puede realizar el mismo trabajo con la versión anterior. Todo depende de las ventajas que pudiera ofrecer el cambio.

En los objetivos planteados al inicio de esta tesis se menciona el diseño y construcción del cartucho de telemetría, siempre con la condición de conservar la compatibilidad con el cartucho *TCC-A*, en lo cual se logró llegar a la construcción en tarjetas prototipo dejando todo probado y listo para elaborar las tarjetas electrónicas en circuito impreso y posteriormente incluirlas dentro del sistema durante la realización de un registro en las cavidades.

La compatibilidad se conserva y gracias a esto se puede seguir usando el *TCC-A*, aún cuando ya se haya terminado el ensamblado del cartucho nuevo.

En cuanto al objetivo que menciona la extensión de la vida útil del cartucho mediante la inclusión de componentes electrónicos recientes, es relativo el cumplimiento, ya que la tecnología y sobre todo la electrónica avanza a pasos agigantados día a día, con lo cual no se puede asegurar que los C.I. usados hoy (después del diseño y construcción de su circuito electrónico) sean lo más reciente del mercado.

Respecto a la ampliación de la ventana analógica para que la distancia medida por el sistema sea mas grande, podemos comentar que no presenta gran dificultad ya que con el hecho de modificar el programa del microcontrolador podemos variar

nuestra ventana analógica desde 10 a 90 mS o más, dependiendo del tiempo que sea necesario reservar para que la sonda mecánica ejecute instrucciones.

El uso de software dentro del cartucho de telemetría nos brinda una flexibilidad enorme para realizar innumerables modificaciones sin necesidad de hacer cambios físicos que se traducirían en gastos e inversiones de tiempo.

Para finalizar es importante mencionar que lo más valioso de la realización de esta tesis es la reafirmación de conocimientos aprendidos en la escuela y la adquisición de nuevos conocimientos, sobre todo dentro del mundo petrolero, así como dentro del mundo de la tecnología y la electrónica.

Bibliografía

Active Filter Cookbook

Don Lancaster

Howard W. Sams

Circuitos Electrónicos discretos e integrados

Donald I. Schilling - Charles Belove

Segunda edición, 1985

Publicaciones Marcombo, S.A.

Electrónica, Teoría de Circuitos.

Robert Boylestad - Louis Nashelsky.

Quinta edición, 1990

Editorial Prentice - Hall Hispanoamericana, S.A.

Embedded Controller Handbook

Volume I

Intel, 1988

Ingeniería de sistemas de telecomunicaciones

Roger L. Freeman

Noriega editores

Editorial Limusa

México, 1989

Introducción a la teoría y sistemas de comunicación

B.P. Lathi

Noriega editores

Editorial Limusa

México 1990.

Manuales de operación y mantenimiento del sistema SONIMP I y II

Grupo de Instrumentación de Sistemas Artificiales de Producción

Instituto Mexicano del Petróleo, 1995

Modern signal and systems

H. Kwakernaak, R. Siva

Prentice Hall, 1991

Noise Reduction Techniques in Electronic Systems

Henry W. Ott

Second Edition

A Wiley - Interscience Publication

Op Amp Handbook

Fredrick W. Hughes

Lindsey Hopkins Technical Education Center

Prentice - Hall

Organización de computadoras

Andrew S. Tanenbaum

Segunda edición, 1986

Editorial Prentice - Hall Hispanoamericana, S.A.

Redes de ordenadores

Andrew S. Tanenbaum

Segunda edición

Editorial Prentice - Hall Hispanoamericana, S.A.

México, 1994.

Signetics Microcontroller Users Guide

Integrated Circuits

Philips Components, 1989

Direcciones electrónicas

Referencia 1: <http://www.nalejandria.com/00/colab/satelite.htm>

Referencia 2: <http://www.redkbs.com/Catai/lurasespanol/sld001.htm>

Referencia 3: <http://www.ecp.com/acop/actvit/prueba/tele.htm>

APENDICE A

Programa grabado al microcontrolador

TELF7.LST

The Cybernetic Micro Systems 8051 Family Assembler, Version 3.04 Page 1
09-02-99

\$Title ...Programa 'TELF.ASM' SONIMP II, JULIO 1998 (O.C.I.)
\$Subttl ...Telemetría de fondo, Programa del microcontrolador

TELF.ASM

Este programa, es el encargado de controlar el flujo de información en el cartucho de telemetría de fondo de la herramienta SONIMP II
Programador: Oscar Carmona Islas

Fecha de Inicio: 06 de julio de 1998.
Fecha de Terminación: 10 de julio de 1998.
Última Modificación: 20 de mayo de 1999.

PUERTO UNO con señales de SALIDA.
8 bits utilizados.

PUERTO TRES con señales de ENTRADA.
6 bits utilizados, el bit 1 y del 3 al 7.

PUERTO CERO.
8 bits de salida.

PUERTO DOS:
8 bits de entrada.

0000 Bseg ; 8051 Segmento de Bits Booleanos

Asignación de líneas para los puertos (entradas y salidas).

0090 =	hab bit P1.0	; Habilita el inicio de la transmisión ; digital
0091 =	relcard bit P1.1	; Manda reloj al c. e. para la transmisión.
0092 =	wfmsync bit P1.2	; Inicio de la ventana analógica.
0093 =	inicrec bit P1.3	; Habilita el inicio de la recepción.
0094 =	relcaru bit P1.4	; Controla inicio de uclk
0095 =	go bit P1.5	; Pulso de inicio de ciclo completo.
0096 =	gos bit P1.6	; Multiplexa go con udata
0097 =	modula bit P1.7	; Habilita al modulador
00B1 =	clkex2 bit P3.1	; Reloj contador de 8 bits.

```

000B      endS      ; fin de declaración de "bits"
;-----
0000      Dseg ; <--- declara Segmento de Datos de la memoria del 8051.
0020      org 20h

Banderas:      ; Permite visualizar el estado de banderas en el
                ; simulador.
0000 =      frlbit bit 0      ; Indica si no fue suficiente el tiempo para la trans-
                ; recepción
0001 =      crcbit bit 1      ; Indica si existe diferencia entre los crc.
0002 =      fspbit bit 2      ; Indica cuando no hay sincronía

30      Org 30h ; memoria después del banco de registros y de memoria de
                ; bits.
0030      crcb:      db 01h      ; Crc calculado con la información de fondo.
0031      crca:      db 01h      ; Crc calculado con inf. de fondo(menos
                ; signifi).
0032      crccasup:  db 01h      ; Crc calculado con inf. de superficie.
0033      pala:      db 01h      ; Palabra de estado.
0034      dato:      db 01h      ; Datos para calcular crc
0035      waux:      db 01h      ; Dato auxiliar.
0036      crcb2:     db 01h      ; crc auxiliar
0060      Org 60h
0060 =      Stack = $ ; Area del Stack (crece hacia las direcciones mas altas)
;-----
0060      endS      ;----- fin del segmento de Datos-----
;-----
0000      Cseg ; <--- Declaración del segmento de código---
                ; %S Special Start marker used by ddICE-51...
reset:
;-----
                INICIO DEL CODIGO DEL PROGRAMA
;-----
0030      org 30h
                inicio: ;:8751 Reset

0030 75815F  mov SP, #Stack-1 ; Inicializa al stack
0033 1137   acall INICIO2     ; inicializa lineas de I/O y hardware

0035 0144   ajmp LAZO_PRIN

;-----
                Rutina de inicialización del microcontrolador.
;-----
INICIO2:
;-----
; Inicializa puertos I/O
0037 7580FF  mov P0, #0FFH      ; entrada (alta impedancia)

```

```
003A 7590FF mov P1,#0FFH
003D 75A0FF mov P2,#0FFH
0040 75B0FF mov P3,#0FFH
```

```
0043 22    ret
```

```
.....
LAZO_PRIN:                ;Inicio del ciclo de trans - recepción.
.....
```

```
0044 D290    setb hab                ;Hab = 1 log. inicio de transmisión.
0046 C296    clr gos
0048 C295    clr go
004A D297    setb modula
004C D291    setb relcard
004E D294    setb relcaru
0050 D293    setb inicrec
0052 D292    setb wfmsync
0054 758000    mov p0, #00H            ;Manda ceros iniciales.
0057 31DE    acall TIE2
0059 C297    clr modula            ;Habilita el modulador
005B D295    setb go                ;Manda pulso de inicio al c.e.
005D 7906    mov r1, #06H           ;2*6*1.08us = 12.96us.
```

```
GO10:
```

```
005F D9FE    djnz r1, GO10          ;Terminación del pulso de inicio (Este
0061 C295    clr go                ;pulso debe durar apx. 20 uS
0063 D296    setb gos              ;Manda 8 bits del FSP.
0065 758006    mov p0, #06H
0068 31DE    acall TIE2
006A 75806B    mov p0, #6BH           ;Manda 8 bits finales del FSP.
006D 00      nop
006E 00      nop
006F 00      nop
0070 31DE    acall TIE2
```

```
.....
;Inicio de las palabras de estado
.....
```

```
0072 7810    mov r0, #10H
0074 7910    mov r1, #10H
0076 753300    mov pala, #00H        ;Limpia palabra.
0079 200049    jb frlbit, FBIT       ;Carga el frlbit del ciclo anterior.
007C 7400    mov a, #0H
007E 75F004    F2: mov b, #04H
0081 A4      mul ab
0082 F533    mov pala, a           ;Carga en palabra el peso del bit
                                ;frlbit.
                                ;Carga el crcbit del ciclo anterior.
0084 200142    jb crcbit, CBIT
0087 7400    mov a, #0H
0089 75F002    C2: mov b, #02H
008C A4      mul ab
008D 2533    add a, pala           ;Suma el peso de crcbit en la
                                ;palabra.
```

```

008F F533    mov pala, a
0091 200239  ;b fspbit, SBIT ;Carga el fspbit del ciclo anterior.
0094 7400    mov a, #0H
S2:
0096 2533    add a, pala ;Suma el peso de fspbit en palabra.
0098 24E0    add a, #11100000B ;Habilita handshake
009A F533    mov pala, a
009C 8780    mov p0, @r1 ;Manda 8 bits almacenados de
009E 31DE    acall TIE2 ;la palabra uno.
00A0 F6      mov @r0, a ;Guarda palabra para calcular crc.
00A1 08      inc r0
00A2 09      inc r1
00A3 00      nop
00A4 00      nop
00A5 00      nop
00A6 00      nop
00A7 8780    mov p0, @r1 ;Manda 8 bits finales de pal 1.
00A9 31DE    acall TIE2
00AB 7602    mov @r0, #02H ;Almacena 8 bits de pal 1.
00AD 08      inc r0
00AE 09      inc r1
00AF 00      nop
00B0 E5B0    mov a, p3 ;Lee resultado del CAD.
00B2 54F8    anl a, #11111000B ;Elimina bits que no usa el CAD.
00B4 00      nop
00B5 00      nop
00B6 00      nop
00B7 8780    mov p0, @r1 ;Manda 8 bits de la palabra 2.
00B9 F6      mov @r0, a ;Guarda 8 bits.
00BA 08      inc r0
00BB 09      inc r1
00BC 31DE    acall TIE2
00BE C294    clr relcaru ;Habilita el envio de uclk al C.E.
00C0 00      nop
00C1 00      nop
00C2 00      nop
00C3 01D1    ajmp MAN
00C5 7401    FBIT: mov a, #01H
00C7 017E    ajmp F2
00C9 7401    CBIT: mov a, #01H
00CB 0189    ajmp C2
00CD 7401    SBIT: mov a, #01H
00CF 0196    ajmp S2

```

;Manda datos del c. e. a la superficie.

```

MAN:
00D1 7E04    mov r6, #04H ;Conteo de 4 palabras
00D3 8780    mov p0, @r1 ;Prepara 8 bits finales de pal 2.
00D5 7600    mov @r0, #00H
00D7 08      inc r0
00D8 09      inc r1

```

```

00D9 31DE          acall TIE2
00DB E5A0          mov a, p2          ;Lee 8 bits del c.e.
      ARRI:
00DD F6           mov @r0, a        ;Manda a superficie los 8 bits leídos.
00DE 8780          mov p0, @r1
00E0 08           inc r0
00E1 09           inc r1
00E2 00           nop
00E3 00           nop
00E4 31DE          acall TIE2        ;Escribe 8 bits finales de pal 2.
00E6 E5A0          mov A, p2        ;Lee otros 8 bits del c.e.
00E8 00           nop
00E9 00           nop
00EA 00           nop
00EB DEF0          djnz r6, ARRI
00ED D294          setb relcaru     ;Deshabilita el envío de uclk.
-----
;Subrutina ENVCRC, encargada de enviar el crc en dos palabras
;de 8 bits cada una, crcb de mayor peso y crca de menor peso.
-----
00EF 853080        mov p0, crcb     ; Envía el crc de mayor peso.
00F2 00           nop
00F3 00           nop
00F4 00           nop
00F5 00           nop
00F6 31DE          acall TIE2
00F8 00           nop
00F9 00           nop
00FA 00           nop
00FB 00           nop
00FC 00           nop
00FD 00           nop
00FE 00           nop
00FF 00           nop
0100 853180        mov p0, crca     ;Envía el crc de menor peso.
0103 31DE          acall TIE2
0105 00           nop
0106 00           nop
0107 00           nop
0108 00           nop
0109 00           nop
010A 00           nop
-----
;Envío de ceros finales e inicio de ventana sécnica.
-----
010B 758000        mov p0, #00H    ;Manda los ceros finales de la
010E 31DE          acall TIE2      ;transmisión.
0110 00           nop
0111 00           nop
0112 00           nop
0113 00           nop
0114 00           nop

```



```

0115 00      nop
0116 31DE   acall TIE2
0118 D297   setb modula      ;Deshabilita el modulador
011A C290   cir hab        ;Deshabilita la transmisión digital
011C C292   cir wfmsync      ;Inicio de la ventana sónica.
    
```

;INICIO DE VENTANA ANALÓGICA (calculo de crc)

```

011E 7810   mov r0, #10H      ;dirección donde se encuentran
0120 7910   mov r1, #10H      ;grabadas las palabras.
0122 753000   mov crcb, #00H    ;Limpia crc de mayor peso.
0125 753100   mov crca, #00H    ;Limpia crc de menor peso.
0128 753500   mov waux, #00H   ;Limpia dato auxiliar.
012B 7E08   mov r6, #08H      ;Define numero de palabras.
ANMOD:
012D 7D08   mov r5, #08H      ;Define número de bits por palabra.
012F E6     mov A, @r0        ;Carga dato de memoria en A
0130 F7     mov @r1, A       ;Carga dato en r1 para sacarlo al ciclo
                                ;siguiente
0131 F534   mov dato, A       ;Carga el dato en "dato".
MOR:
0133 E534   mov A, dato
0135 5480   anl A, #10000000b ;Inicia el calculo de CRC
0137 F535   mov waux, A
0139 6230   xrl crcb, a
013B 853036   mov crcb2, crcb
013E 533680   anl crcb2, #80H
0141 853635   mov waux, crcb2
0144 E531   mov A, crca      ;Desplaza el CRC a la izquierda.
0146 33     rlc A
0147 F531   mov crca, A
0149 E530   mov a, crcb
014B 33     rlc a
014C F530   mov crcb, a
014E 7400   mov a, #00H
0150 33     rlc a
0151 AF35   mov r7, waux
0153 BF0010   cjne r7, #00H, COME
COME:
0156 E534   mov a, dato      ;Lee el dato actual.
0158 33     rlc a          ;Desplaza dicho dato.
0159 F534   mov dato, a
015B 7400   mov a, #00H
015D 33     rlc a
015E DDD3   djnz r5, MOR     ;Cuenta los bits

0160 08     inc r0          ;Apunta al siguiente dato
0161 09     inc r1
0162 DEC9   djnz r6, ANMOD  ;Cuenta palabras.
0164 216E   ajmp DEF
    
```

```
0166 633010 COME:   xrl crcb, #10H
0169 633121         xrl crca, #21H
016C 2156   ajmp COMI2
```

```
016E 7F00 DEF:   mov r7, #00H           ;256*151*2*1.08us = 83.49ms.
0170 7E97         mov r6, #097H
```

```
VEN:
0172 DFFE   djnz r7, VEN
0174 DEFC         djnz r6, VEN
0176 D292   setb wfmsync           ;Wfmsync = 1 log.
0178 C293   clr inicrec           ;Inicrec = 0 log. Inicio de recepción.
```

;Inicio de la recepción.

```
017A 7F10   mov r7, #10H
017C 7E10   mov r6, #10H
017E 31DE   acall TIE2
0180 00     nop
0181 00     nop
0182 00     nop
0183 00     nop
0184 00     nop
0185 00     nop
0186 00     nop
0187 00     nop
0188 31DE   acall TIE2
```

```
FSP:
018A E5A0   mov a, p2
018C B46B04  cjne a, #6bH, FSPMAL
018F D202   setb fspbit
0191 2195   ajmp CUENTA
```

```
FSPMAL:
0193 C202   clr fspbit
```

;LECTURA de datos de la superficie.

CUENTA:

```
0195 00     nop
0196 7808   mov R0, #08h           ;Localidad de memoria para
                                ;almacenar.
0198 7E05   mov R6, #05H           ;Cuenta 4 palabras y su crc
                                ;respectivo.
019A 753200         mov crccasup, #00H     ;Limpia crc calculado en ciclo
                                ;anterior.
```

```

019D 7400    mov A,#00H           ;Limpia el acumulador
            LECT:
019F 6232    xrl crccasup, A      ;Cálculo de crc.
01A1 31DE    acall TIE2
01A3 E5A0    mov A, p2
01A5 F6      mov @R0, A           ;Almacena palabra de 8 bits.
01A6 08      inc R0
01A7 DEF6    djnz R6, LECT       ;Regresa a calcular crc y leer otra
                                ;palabra.
01A9 B53230  cjne A, crccasup, CRC11 ;Si no son iguales los dos crc
                                ; (el enviado y el calculado)
                                ; no son mandados al c.e.

01AC C201    clr crcbit
            -----
            ;Si son iguales los dos crc, se mandan los datos hacia el cart. elect.
            -----
01AE 7E03    mov R6, #03H         ;Cuenta 3 palabras de envío al c.e.
01B0 7808    mov R0, #08H         ; memoria donde se almacenaron
                                ; los datos a enviar al c.e.

01B2 8680    mov p0, @r0          ;Manda una palabra
01B4 31DE    acall TIE2
01B6 C291    clr relcard ;Manda reloj al c.e.
01B8 00      nop
01B9 00      nop
01BA 00      nop

            CAREL:
01BB 00      nop
01BC 00      nop
01BD 00      nop
01BE 08      inc r0           ;Apunta hacia el siguiente dato.
01BF 8680    mov p0, @r0
01C1 31DE    acall TIE2
01C3 DEF6    djnz r6, CAREL
01C5 00      nop
01C6 00      nop
01C7 00      nop
01C8 00      nop
01C9 00      nop
01CA 00      nop
01CB 00      nop
01CC 31DE    acall TIE2
01CE D291    setb relcard     ;Deshabilita dclk.
01D0 D293    setb inicrec     ;Deshabilita recepción.
01D2 7F00    mov r7, #00H     ;Define retardo.
01D4 7E4D    mov r6, #4DH       ;256*77*2*1.08us=42.57mS.

            INS:
01D6 DFFE    djnz r7, INS     ;Retardos para dar tiempo a que la
01D8 DEFC    djnz r6, INS     ;herramienta ejecute instrucciones.
01DA 0144    ajmp LAZO_PRIN
            CRC11:
01DC 21E2    ajmp CRCMAL

```

;Subrutina TIE2. Encargada de localizar el inicio de cada byte
;equivalente a 8 ciclos de tie1

TIE2:
01DE 30B1FD jnb clkex2, TIE2 ;Detecta cuando clkex es cero.
01E1 22 ret

;Subrutina CRCMAL: Es llamada cuando se encuentra diferencia
;entre el crc recibido de superficie y el crc calculado en
;fondo. Esta subrutina impide que la información pase al cart.
;elec. y se espera a la siguiente recepción.

CRCMAL:
01E2 D201 setb crcbit ;Guarda uno en la palabra de estado
01E4 D293 setb inicrec ;para enviarla en el ciclo siguiente.

01E6 7F00 mov R7, #00H ;Define retardo
01E8 7E4D mov r6, #4DH ;256*77*2*1.08uS=42.57mS.

INS2:
01EA DFFE djnz R7, INS2 ;Retardo para continuar con el nuevo
01EC DEFC djnz r6, INS2 ;ciclo de transmisión recepción.
01EE 0144 ajmp LAZO_PRIN ;Vuelve a iniciar todo el ciclo.

; %E
01F0 ENDS
0000 END RESET
; %T Symbol Name Type Value

ANMOD L 012D
ARRI L 00DD
BANDERAS D 0020
C2 L 0089
CAREL L 01BB
CBIT L 00C9
CLKEX1 B 00B0
CLKEX2 B 00B1
COME L 0166
COMI2 L 0156
CRC11 L 01DC
CRCA D 0031
CRCB D 0030
CRCB2 D 0036
CRCBIT B 0001
CRCCASUP D 0032
CRCMAL L 01E2
CUENTA L 0195
DATO D 0034
DDATIN B 00B2
DEF L 016E

F2..... L 007E
 FBIT..... L 00C5
 FRLBIT..... B 0000
 FSP..... L 018A
 FSPBIT..... B 0002
 FSPMAL..... L 0193
 GO..... B 0095
 GO10..... L 005F
 GOS..... B 0096
 HAB..... B 0090
 INICIO..... L 0030
 INICIO2..... L 0037
 INICREC..... B 0093
 INS..... L 01D6
 INS2..... L 01EA
 LAZO_PRIN..... L 0044
 LECT..... L 019F
 MAN..... L 00D1
 MODULA..... B 0097
 MOR..... L 0133
 PALA..... D 0033
 RELCARD..... B 0091
 RELCARU..... B 0094
 S2..... L 0096
 SBIT..... L 00CD
 STACK..... I 0060
 TIE2..... L 01DE
 VEN..... L 0172
 WAUX..... D 0035
 WFMSYNC..... B 0092

;%Z

00 Errors (0000)

APENDICE B

Lista de componentes

CIRCUITOS INTEGRADOS

Nombre	Componente	Nombre	Componente	Nombre	Componente
U1	HI1-5051-5	U10	MC14040	U19	HA4905
U2	LF347D	U11	D87C51FA-1	U20	MC14053
U3	HA4905	U12	74HC374	U21	MC14538
U4	MC14070	U13	MC14015	U22	MC14027
U5	MC14013	U14	MC14021	U23	MC14071
U6	MC14015	U15	MC14015	U24	HA4905
U7	MC14013	U16	HI1-5051-5	U25	MC14069
U8	MC14069	U17	MC14538	U26	MC14071
U9	MC14520	U18	HI1-201HS-8		

RESISTENCIAS

Nombre	Valor en K Ω	Nombre	Valor en K Ω	Nombre	Valor en K Ω
R1	1	R16	3.32	R31	0.066
R2	1	R17	10	R32	0.016
R3	8.45	R18	150	R33	283
R4	42.2	R19	144	R34	50
R5	1	R20	2	R35	10
R6	110	R21	6.66	R36	10
R7	110	R22	1.5	R37	1
R8	3.92	R23	10	R38	10
R9	1.82	R24	6.66	R39	1
R10	3.48	R25	2	R40	10
R11	4.99	R26	1.5	R41	10
R12	4.99	R27	0.066	R42	0.68
R13	2	R28	0.016	R43	10
R14	10	R29	0.1		
R15	9.31	R30	0.664		

Las resistencias 28 y 32 son de 0.5 Wats, todas las demás son de 0.25.

TRANSISTORES

Nombre	Componente	Nombre	Componente	Nombre	Componente
Q1	NTE128	Q5	NTE129	Q9	NTE129
Q2	NTE129	Q6	2N2907	Q10	NTE128
Q3	2N2907	Q7	NTE123A		
Q4	NTE123A	Q8	NTE128		

CAPACITORES

Nombre	Valor en μF	Nombre	Valor en μF	Nombre	Valor en μF
C1	0.047	C12	0.01	C23	0.15
C2	0.0022	C13	0.000033	C24	10
C3	0.01	C14	0.000033	C25	0.15
C4	0.00078	C15	0.0068	C26	0.15
C5	0.0001	C16	0.000033	C27	0.15
C6	0.00033	C17	0.000033	C28	0.1
C7	0.047	C18	0.474	C29	0.1
C8	0.000033	C19	0.000012	C30	0.1
C9	0.047	C20	10	C31	10
C10	0.000068	C21	10	C32	10
C11	0.00039	C22	10	C33	0.1

OTROS

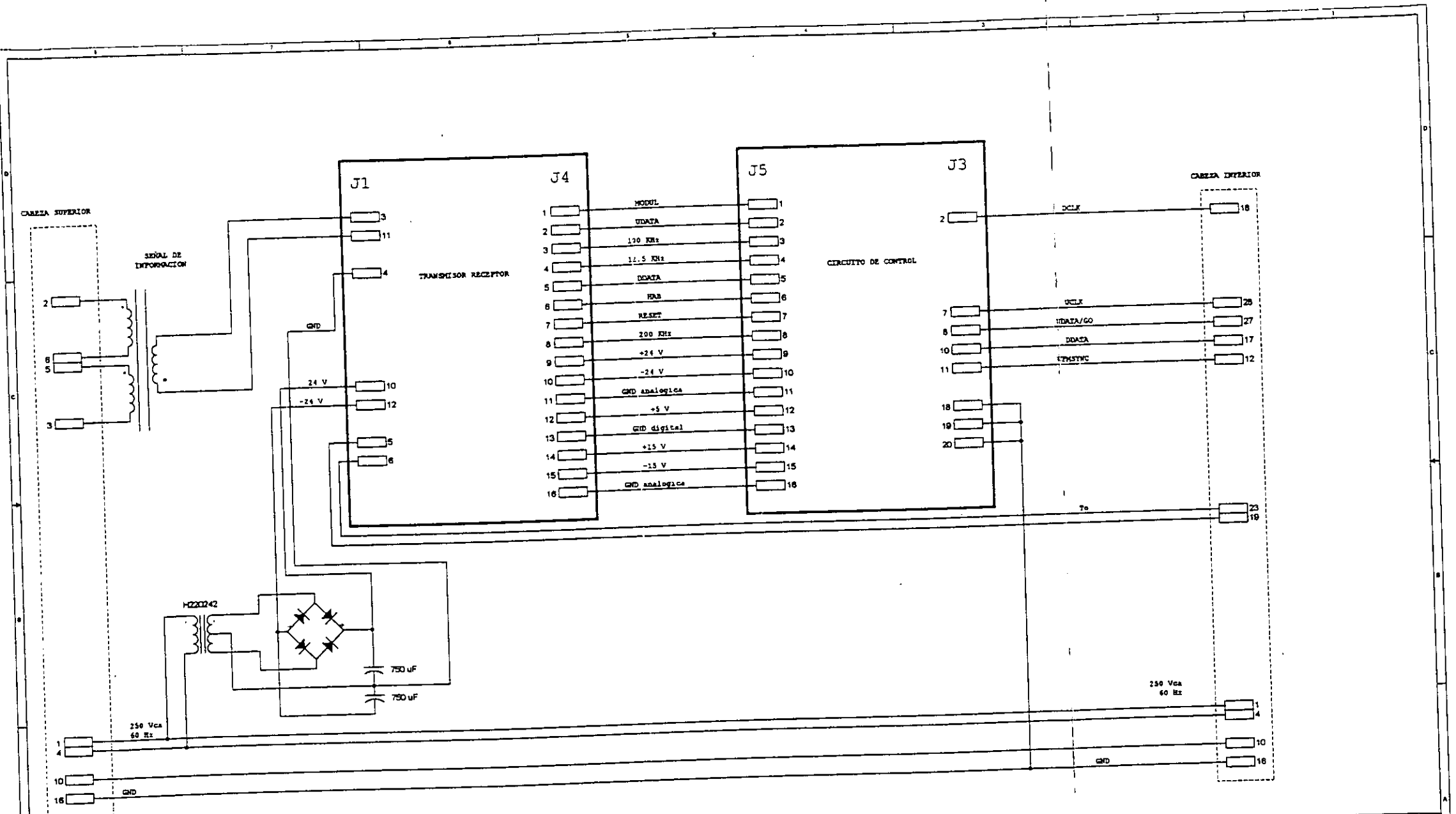
Nombre	Descripción
PR1	Barra de resistencias de 10K
CRYSTAL 1	Cristal de cuarzo de 3.2MHz
CRYSTAL 2	Cristal de cuarzo de 11.0592MHz
T1	Transformador de acople
D1	Diodo 1N914B
D2	Diodo 1N914B
Dz1	Diodo zener 1N4739A
Dz2	Diodo zener 1N4739A

APÉNDICE

C

DIAGRAMAS

ELÉCTRICOS



NOTA: Los conectores J1 y J3 son Machos p/ chasis. J1 es DB-15 y J3 es DB-25.
 Los conectores J4 y J5 son tipo C.I. de 16 pines.

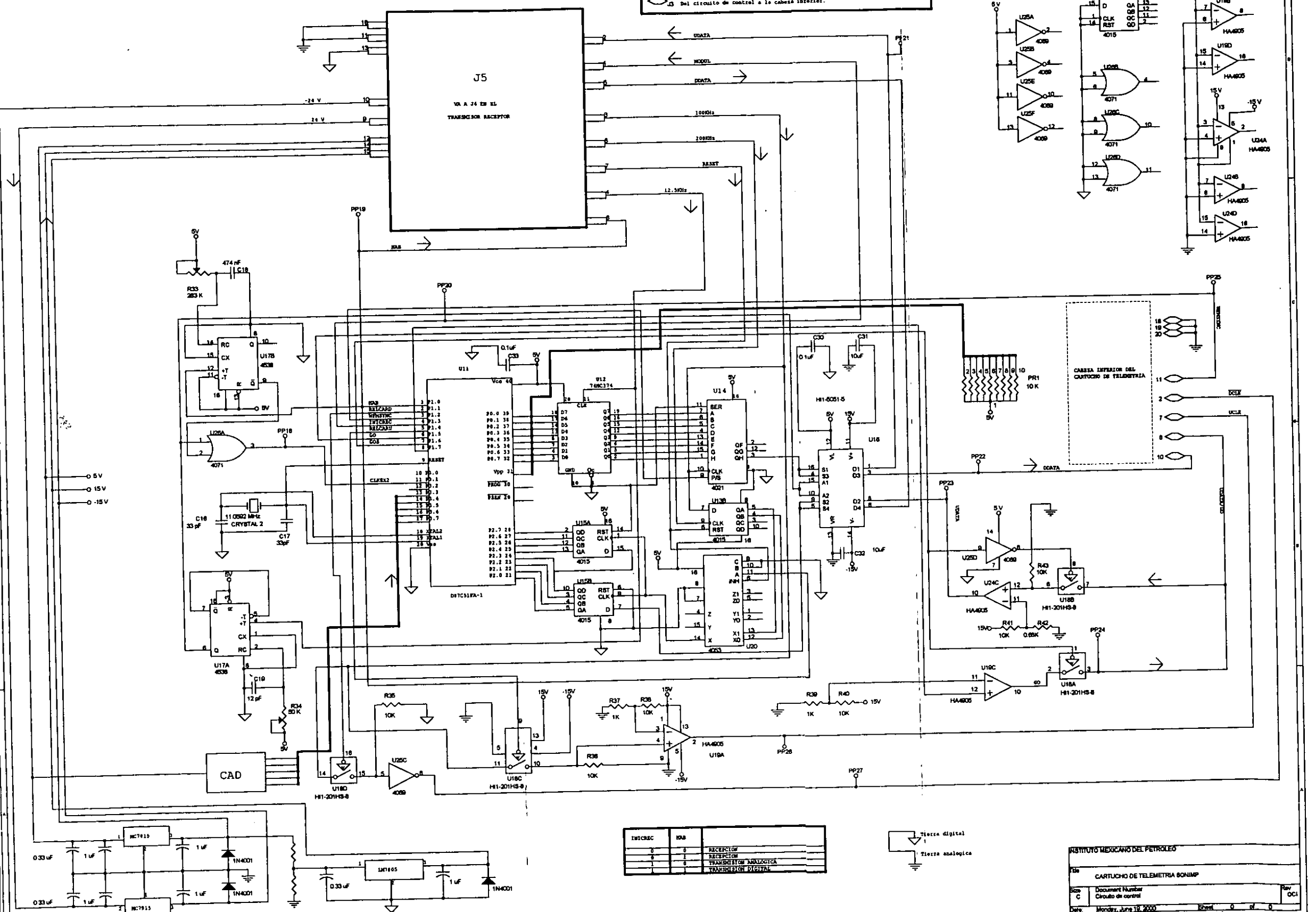
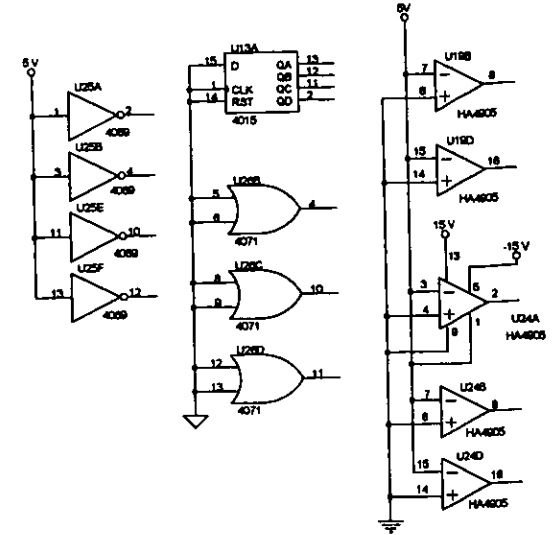
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO		
File	CARTUCHO DE TELEMETRIA SONIMP	
Scale	Document Number	Rev
B	Diagrama General	OCI
Date	Monday, June 19, 2000	Sheet 0 of 0

NOTA: Todas las resistancias son de 0.25 Wata

CONEXIONES

- Del transmisor receptor al circuito de control
- Del circuito de control a la cabeza inferior.

CIRCUITOS NO UTILIZADOS



INTREC	RMS	RECEPCION
0	0	RECEPCION
0	1	TRANSMISION ANALOGICA
1	1	TRANSMISION DIGITAL

